

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ, МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-0064

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

Основан в 1997 г.

№ 2(57), апрель – июнь 2012

Выходит 4 раза в год

© Харьковский национальный
университет радиоэлектроники, 2012

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 12097-968 ПР 14.12.2006

РИ, 2012, № 2

СОДЕРЖАНИЕ

РАДИОТЕХНИКА

СЛАБОСПИЦКИЙ Р.П., ХАЖМУРАДОВ М.А., ЛУКЬЯНОВА В.П. ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ.....	3
КОЖУХОВ А.М. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СО СЛАБЫМ БЛЕСКОМ.....	9
БРЮХОВЕЦКИЙ А. Б. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ЛОКАЛЬНО НЕИЗМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ.....	16

ЭЛЕКТРОНИКА

ЧЕРНЫШОВ Н.Н. ДИНАМИКА ЧАСТИЦ С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА ПРИ ТРАНСПОРТОВКЕ В УСКОРИТЕЛЯХ.....	24
--	----

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

БАРАННИК В.В., ДОДУХ А.Н. МЕТОД ДВУХКОМПОНЕНТНОГО КОДИРОВАНИЯ АПЕРТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СРЕДСТВАХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ.....	28
БАРАННИК В.В., КРИВОНОС В.Н., ХАХАНОВА А.В. КОДИРОВАНИЕ ЗНАЧИМЫХ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ.....	32
ВОЛОЧИЙ Б.Ю., КУЗНЕЦОВ Д.С. МОДЕЛЬ ДЛЯ НАДІЙНІСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЦІЛОДОБОВОЇ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	36

СИСТЕМЫ И ПРОЦЕССЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАЧУР С.А. МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ МЕЖГАЛАКТИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ И ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА.....	43
ВОВК А.В., ПОДГОРБУНСКИЙ Н.С. ПРОЦЕСС РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОЙ МАССЫ ПО РАЗМЕРАМ.....	50

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

MURAD ALIABVAS, ХАХАНОВ В.И., ЛИТВИНОВА Е.И., ХАХАНОВА И.В. ИНФРАСТРУКТУРА ВСТРОЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ PLD-СХЕМ.....	54
--	----

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ

ГОФМАН Е.А., СУББОТИН С.А., ОЛЕЙНИК А.А. СИНТЕЗ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПО ПРИЗНАКАМ.....	58
ПАНЧЕНКО И.А., ПУТЯТИН Е.П. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВАРИАНТНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕКСТУР.....	62
КОЧКАРЬОВ Ю.О., БУРМІСТРОВ С.В., СИНЬКО І.В. СПРОЩЕННЯ ЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ НА ОСНОВІ КАТАЛОГІВ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ.....	67
АНДРИЕНКО Е.А., ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., РАТАЙ С.К. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ НАГРУЗОК СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА СЕРВЕРЕ.....	69

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

КОЗУЛЯ Т.В., М'ЯСОСДОВ В.В., ЩЕРБАНЬ М.Г., КОЗУЛЯ М.М. КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГО-ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА СТАНУ АНТРОПОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ КОРПОРАЦІЙНОЇ ЕКОЛОГО-ГІГІЄНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	75
БЕЛЬЧЕВА А.В., МАНАКОВА Н.О. АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ ТЕСТОВЫХ НАБОРОВ ВЕКТОРНЫХ И РАСТРОВЫХ ДАННЫХ.....	83
МЕЛЬНИКОВА Н.І. МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЛІКУВАЛЬНО-ТЕРАПЕВТИЧНОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ.....	86
РИШКОВЕЦЬ Ю.В., ЖЕЖНИЧ П.І. АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІДВІДУВАННЯ ВЕБ-ГАЛЕРЕЙ З УРАХУВАННЯМ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧА.....	90
РЕФЕРАТИ.....	94
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ АВТОРОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА.....	99

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

СЛАБОСПИЦКИЙ Р.П., ХАЖМУРАДОВ М.А.,
ЛУКЬЯНОВА В.П.

Приводятся результаты исследования аккумуляторной батареи, состоящей из отдельных ячеек с зазорами между ними. Предлагаются оптимальные расстояния между ячейками и скорость охлаждающего потока воздуха.

1. Введение

Аккумуляторная батарея нормально работает, когда ее температура поддерживается в пределах $-30 \div +50^\circ\text{C}$. При этом система охлаждения батареи должна быть компактной, легкой и доступной по цене.

В работе [1] рассмотрена система с параллельным охлаждением батареи потоком воздуха. Воздух подается снизу батареи, проходит по каналам между ее отдельными ячейками и выходит во внешнюю среду. В этой работе проведен анализ и расчет системы охлаждения с помощью метода аналитических расчетов. Исходя из уравнений сохранения количества движения и энергии, приведено основное уравнение баланса энергии и ряд других формул для расчета различных параметров системы охлаждения. Расчеты выполнены для различных скоростей потока воздуха, продуваемого через систему, однако только для случая, когда зазор между отдельными ячейками равняется 2 мм и подача охлаждающего потока воздуха проводится снизу батареи. Было показано, что при скоростях потока воздуха больших 5 м/с удается охладить ячейки батареи до температуры меньше $+50^\circ\text{C}$. Однако движение воздуха при больших скоростях турбулентное и вызывает большой шум в системе охлаждения. При скорости потока воздуха меньше 5 м/с воздух движется достаточно спокойно и не вызывает особого шума в системе охлаждения батареи, но температура ячеек батареи при этом в ряде случаев превышает предельно допустимую температурную норму ($+50^\circ\text{C}$).

2. Исследование работы батареи при изменении зазора между ячейками

Возникает вопрос, можно ли какими то другими, достаточно простыми методами снизить верхний предел наиболее горячей части батареи. Такими простыми методами могут быть – изменение зазора между ячейками в батарее с 2 до 5 мм и подача охлаждающего потока воздуха сверху батареи. Для проведения

расчета температуры поверхности ячейки батареи воспользуемся в соответствии с работой [2] основным уравнением баланса энергии

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T_2 = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T_1, \quad (1)$$

где q_c – тепловой поток, поступающий в канал; h_c – коэффициент теплопередачи; A – общая площадь поверхности контакта газа с теплопередающей поверхностью; \dot{m} – массовый расход газа; C_p – удельная теплоемкость;

$$\Delta T_2 = \left(T_s - \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2} \right),$$

здесь T_s – средняя температура стенки; T_{b1} – температура потока на входе канала; T_{b2} – температура потока на выходе из канала.

В уравнении (1) за счет введения члена $(T_{b1} + T_{b2})/2$ учтена среднemasовая температура газа, а также изменение его температуры между входом и выходом $\Delta T_1 = T_{b2} - T_{b1}$, при котором охлаждающий поток подается снизу батареи (рис. 1), проходит по прямоугольным каналам между ее отдельными ячейками и выходит во внешнюю среду.

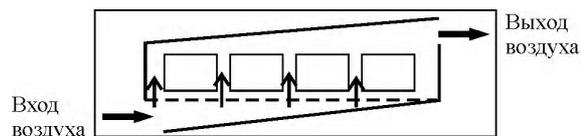


Рис. 1. Параллельное охлаждение батареи

Схема батареи с указанием некоторых конкретных размеров приведена на рис. 2.

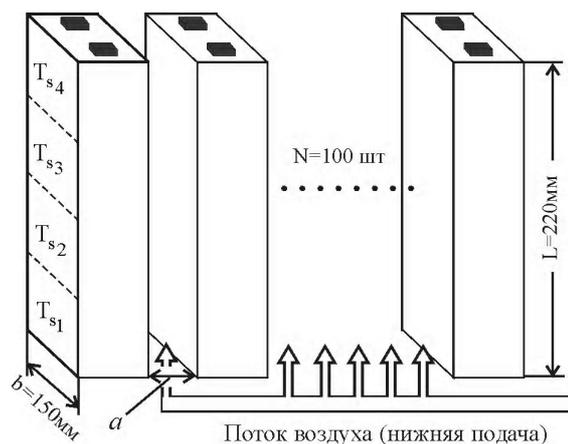


Рис. 2. Схема батареи с охлаждением воздухом через прямоугольный канал

В рассматриваемом нами случае в каждой ячейке выделяется 15 Вт мощности, т.е. $q_c = 15$ Вт. Поскольку тепло от ячейки выделяется через всю ее площадь, то площадь контакта с теплопередающей поверхностью будет $A = 2b \cdot L$. Расчеты проведем для температуры воздуха на входе в канал 20°C , т.е. $T_{b1} = 20^\circ\text{C}$.

Имея данные о температуре поверхности ячеек при зазоре между ячейками $a=2$ мм [1], необходимо провести расчеты для других значений зазора между ячейками, в частности для $a=3, 4, 5$ мм, сравнить полученные результаты с предыдущими данными и сделать более полные выводы.

Вначале проведем расчеты для $a=3$ мм. Для определения типа движения воздуха необходимо знать число Рейнольдса (Re), которое рассчитывается по формуле

$$Re = \frac{V_m \cdot D_h}{\nu}, \quad (2)$$

где V_m – средняя скорость движения воздуха; $\nu = 17,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – коэффициент кинетической вязкости; D_h – гидравлический диаметр.

Для прямоугольного канала (при $a \ll b$) $D_h = 2a = 6 \text{ мм} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. При $V_m = 1 \text{ м/с}$ величина $Re=342$, что меньше критического ($Re_{кр} \approx 2000$), т.е. движение воздуха в этом случае будет ламинарным. Массовый расход воздуха через канал площадью $B(\text{м}^2)$ равен

$$\dot{m} = \rho \cdot B \cdot V_m,$$

где $B = a \cdot b = 3 \text{ мм} \cdot 150 \text{ мм} = 450 \text{ мм}^2$, плотность воздуха $\rho \approx 1,1 \text{ кг/м}^3$ и, следовательно, $\dot{m} = 0,5 \text{ г/с} \approx 0,5 \text{ л/с}$ через один канал и 50 л/с через 100 каналов батареи.

Из формулы (1) определяем величину ΔT_1 – изменение температуры потока воздуха между входом в канал и выходом из него. Учитывая, что $C_p = 1014 \text{ Дж/кг} \cdot \text{град}$, $\Delta T_1 = T_{b2} - T_{b1} = 30^\circ\text{C}$, т.е. $T_{b2} = 50^\circ\text{C}$.

Для определения ΔT_2 и T_s необходимо знать величину h_c – коэффициента теплопередачи, который рассчитывается по следующей формуле:

$$h_c = \frac{k \cdot Nu}{D_h}, \quad (3)$$

где Nu – число Нуссельта; $k = 0,0265 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ – коэффициент теплопроводности воздуха.

Значение Nu вычисляется по разным формулам в зависимости от типа движения воздуха по каналу.

Для ламинарного движения Nu вычисляется по формуле

$$Nu_{\text{лам}} = 1,86(Re \cdot Pr)^{0,33} \left(\frac{D}{L} \right)^{0,33} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0,14},$$

а для турбулентного движения – по формуле

$$Nu_{\text{турб}} = 0,023 Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3}.$$

Для ламинарного движения при $a=3$ мм и $V_m = 1 \text{ м/с}$ $Nu = 2,91$. В этих расчетах число Прандтля $Pr = 0,71$, коэффициент динамической вязкости $\mu_s = 18,2 \cdot 10^{-6}$ при $T = 20^\circ\text{C}$ и $\mu_s = 19,5 \cdot 10^{-6}$ при $T = 50^\circ\text{C}$.

Зная k , Nu и D_h , вычислим по формуле (3) величину h_c , которая будет равна $h_c = 12,9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$. Затем вычислим значение ΔT_2 и T_s – температуру поверхности:

$$\Delta T_2 = \frac{q_c}{h_c \cdot A} = 17,6^\circ\text{C},$$

$$T_s = \Delta T_2 + \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2} = 17,6^\circ + \frac{20^\circ + 50^\circ}{2} = 52,6^\circ\text{C}.$$

Необходимо отметить, что температура поверхности ячейки, которая близка к температуре внутри ячейки, больше $+50^\circ\text{C}$ и, следовательно, необходимо принимать дополнительные меры по охлаждению поверхности ячейки. Это же мы отмечали в работе [1], где были проведены расчеты для случая, когда зазор между ячейками равнялся $a=2$ мм. Расчеты выполнены для случая, когда средняя температура стенки T_s постоянна по всей высоте (L) поверхности ячейки.

В реально работающих батареях температура в верхней части ячейки выше, чем в нижней. Для более точного приближения к реальности рассмотрим случай, когда стенка с $L = 0,22 \text{ м}$ условно разделена на четыре одинаковые части по $0,055 \text{ м}$. Из 15 Вт для всей ячейки в самой нижней (первой) части ячейки выделяется 2 Вт , во второй по высоте – 3 Вт , в третьей – 4 Вт и в верхней (четвертой) – 6 Вт [1].

Тогда для нижней (первой) части ячейки

$$\Delta T_{21} = \frac{q_c}{h_c \cdot A} = \frac{2 \text{ Вт}}{12,9 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C} \cdot 2 \cdot 0,055 \text{ м} \cdot 0,15 \text{ м}} = 9,4^\circ\text{C},$$

для второй – $\Delta T_{22} = 14,1^\circ\text{C}$, третьей – $\Delta T_{23} = 18,8^\circ\text{C}$ и четвертой – $\Delta T_{24} = 28,2^\circ\text{C}$.

В расчетах температура, протекающего через канал воздуха T_{b2} делится по длине канала равномерно, т.е. в каждой из четырех частей температура возрастает на $30^\circ\text{C}/4 = 7,5^\circ\text{C}$. В этом случае температура поверхности нижней (первой) части ячейки будет

$$T_{s1} = \Delta T_{21} + \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2} = 9,4^\circ + \frac{20^\circ + 27,5^\circ}{2} = 33,2^\circ \text{°N},$$

второй $T_{s2} = 45,4^\circ\text{C}$, третьей $T_{s3} = 57,6^\circ\text{C}$, четвертой $T_{s4} = 74,5^\circ\text{C}$.

Из приведенных расчетов видно, что в случае, когда стенка разделена на четыре части, температура поверхности для самой верхней части возрастает больше чем на 20°C по сравнению со случаем, когда темпера-

тура всей поверхности одинакова. Из сравнения данных по $T_{s4} = 74,5^{\circ}\text{C}$ ($a=3$ мм) и $T_{s4} = 81,4^{\circ}\text{C}$ ($a=2$ мм) [1] видно, что увеличение зазора между ячейками с $a=2$ мм до $a=3$ мм несколько снижает температуру T_{s4} , но температура верхней части ячейки по-прежнему намного выше $+50^{\circ}\text{C}$.

Вследствие трения о стенки канала давление воздуха по его длине падает [3] на величину

$$\Delta p = 2f \cdot \rho \cdot V_m^2 \cdot \frac{L}{D_h},$$

где $f = 24 \cdot \text{Re}^{-1} \approx 0,1$; $\rho = 1,1 \text{ кг/м}^3$; V_m – скорость течения воздуха; $L = 0,22$ м – длина канала и $D_h = 6 \cdot 10^{-3}$ м.

Поэтому для $V_m = 1$ м/с падение давления в канале $\Delta p = 8$ Па.

Расчеты для зазора между ячейками $a=3$ мм поделаны также для скоростей потока воздуха $V_m = 2, 3, 5, 7, 10$ и 20 м/с. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Аналогичные расчеты проделаны для зазоров между ячейками $a=4$ мм и $a=5$ мм и приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Из данных, приведенных в указанных таблицах, следует, что при скоростях потока воздуха $V_m = 2$ м/с и выше температура поверхности первой (нижней), второй и третьей части ячеек значительно ниже критической температуры $+50^{\circ}\text{C}$.

При дальнейшем анализе результатов расчета использовались результаты для зазора между ячейками $a=2$ мм [1].

Для наглядности полученные результаты представлены в виде графиков. На рис. 3 приведены зависимости температуры поверхности наиболее горячей четвертой (верхней) части ячейки T_{s4} от скорости входного потока V_m для различных зазоров между ячейками ($a=2, 3, 4, 5$ мм). Видно, что с увеличением скорости потока V_m уменьшается различие между величинами T_{s4} .

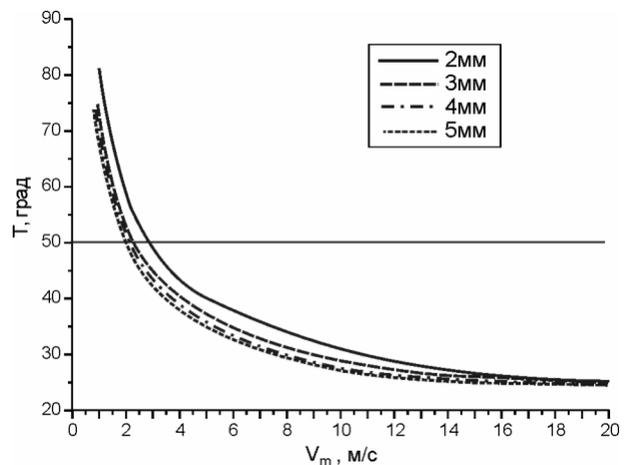


Рис. 3. Зависимость температуры поверхности четвертой (верхней) части ячейки T_{s4} для различных $a=2, 3, 4, 5$ мм

Основной вывод, который можно сделать на основании полученных результатов, приведенных в табл. 1-3 и в таблице для $a=2$ мм [1], заключается в том, что температуру поверхности верхней (наиболее горячей) части ячейки можно сделать ниже $+50^{\circ}\text{C}$ только увеличив скорость потока воздуха выше 3 м/с, а не за счет увеличения зазора между ячейками. Разумеется, при температуре входного потока $+30^{\circ}\text{C}$ требования к

Таблица 1
Данные расчета системы охлаждения аккумуляторной батареи при зазоре между ячейками $a=3$ мм

Тип движения	V_m , м/с	Re	Nu	\dot{m} , г/с	h_c , Вт/м ² ·°C	ΔT_1 , °C	T_s , °C	T_{s1} , °C	T_{s2} , °C	T_{s3} , °C	T_{s4} , °C	Δp , Па
Ламинар.	1	342	2,9	0,5	12,9	30	52,6	33,2	45,4	57,6	74,5	8
Ламинар.	2	684	4,4	0,99	19,4	15	39,2	27,2	34	40	50	11,3
Ламинар.	3	1023	4,8	1,49	21,2	10	35,7	21,3	23,8	26,3	45,9	17,0
Ламинар.	4	1370	5,4	2	23,8	7,5	33,3	26	30,5	35	42	22,6
Ламинар.	5	1710	5	2,5	22,1	6	33	26	31	35	37,6	28,3
Турбулент.	7	2394	10,4	3,5	45,9	4,5	27,3	23,2	25,7	28,3	32	39,6
Турбулент.	10	3420	13,9	5	61,3	3	25,2	22,4	24,13	26	28,6	56,6
Турбулент.	15	5100	19,1	6,75	84,3	2,2	23,5	21,7	23	24,0	26	85,3
Турбулент.	20	6818	24,2	10	107	1,5	22,9	21,3	22,3	23,5	24,7	113,3

системе охлаждения будут еще более жесткими, что хорошо видно на рис. 5 [1].

3. Исследование работы батареи при верхней подаче воздуха в аккумуляторную батарею

Поскольку основная часть тепла выделяется в верхней части ячеек батареи, то необходимо рассмотреть условие охлаждения ячеек при верхней подаче охлаждающего потока воздуха в батарею. В этом случае верхняя часть ячеек охлаждается более холодным потоком, еще не нагретым при прохождении нижних частей ячеек.

На рис. 4 приведены зависимости температуры поверхности для верхней (T_{s4}) и нижней (T_{s1}) части ячейки от скорости охлаждающего потока воздуха V_m . Зависимости приведены для случаев, когда воздух подается снизу (T_{s4} -Н, T_{s1} -Н) и сверху (T_{s4} -В, T_{s1} -В).

Из рис. 4 видно, что при подаче воздуха сверху удается понизить температуру поверхности верхней части ячейки до значения ниже $+50^\circ\text{C}$. Однако при верхней подаче воздуха температура нижней части ячейки поднимается до $+65^\circ\text{C}$. Правда, это наблюдается только при скорости потока воздуха $V_m = 1 \text{ м/с}$.

Таблица 2

Данные расчета системы охлаждения аккумуляторной батареи при зазоре между ячейками $a=4 \text{ мм}$

Тип движения	V_m , м/с	Re	Nu	\dot{m} , г/с	h_c , Вт/м ² ·°C	ΔT_1 , °C	T_s , °C	T_{s1} , °C	T_{s2} , °C	T_{s3} , °C	T_{s4} , °C	Δp , Па
Ламинар.	1	456	3,2	0,66	10,6	22,5	52,7	34,2	45,6	56,8	73,8	7,3
Ламинар.	2	912	5,4	1,32	17,9	11,25	38,3	28	34	40,6	50,2	6,3
Ламинар.	3	1364	5,8	1,98	19,2	7,5	35,6	27,3	32,4	37,4	45,7	9,5
Ламинар.	4	1824	6,6	2,64	21,8	5,7	33,25	26	30,3	34,7	42	13
Турбулент.	5	2280	10,1	3,3	33,5	4,5	29	24,2	27	30	35	16
Турбулент.	7	3190	13,2	4,6	43,7	3,3	26,9	23,2	25,4	27,6	31,1	22,3
Турбулент.	10	4560	17,5	6,6	58	2,3	25	22,4	24	25,6	28,2	31,8
Турбулент.	15	6800	24,1	9	79,8	1,7	23,7	21,7	22,9	24	29	47,9
Турбулент.	20	9120	29,2	13,2	96,7	1,1	22,9	21,4	22,3	23,2	24,8	63,7

Таблица 3

Данные расчета системы охлаждения аккумуляторной батареи при зазоре между ячейками $a=5 \text{ мм}$

Тип движения	V_m , м/с	Re	Nu	\dot{m} , г/с	h_c , Вт/м ² ·°C	ΔT_1 , °C	T_s , °C	T_{s1} , °C	T_{s2} , °C	T_{s3} , °C	T_{s4} , °C	Δp , Па
Ламинар.	1	570	3,45	0,83	9,14	18	53,8	35,6	46,8	58,3	75,8	5,0
Ламинар.	2	1110	6,2	1,55	16,4	9,28	38,4	28,5	37,7	40,9	50,6	4,2
Ламинар.	3	1705	6,7	2,48	17,8	6	35,8	27,6	32,9	37,4	46,8	6,3
Турбулент.	4	2280	10	3,3	26,5	4,5	32,3	25,7	28,6	32	37,6	8,2
Турбулент.	5	2870	12,1	4,2	32,1	3,6	28,8	24,5	27	29,7	34,4	9,2
Турбулент.	7	3990	15,7	5,8	41,6	2,6	26,6	24,5	27	29,7	31,1	14,2
Турбулент.	10	5700	21	8,3	55,7	1,8	25	22,4	24	25,7	28,7	20,3
Турбулент.	15	8500	28,7	11,25	76	1,3	23,6	21,8	22,9	24	26	30,7
Турбулент.	20	11400	36,4	16,6	96,4	0,9	23,8	21,5	22,4	23,2	24,6	40,8

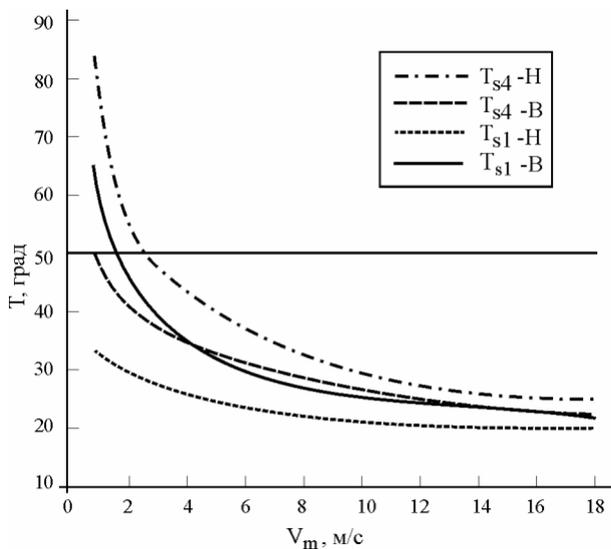


Рис. 4. Зависимость температуры поверхности при верхней и нижней подаче охлаждающего воздуха V_m ($a=2$ мм)

4. Выводы

Общий вывод, который можно сделать в результате всех проведенных исследований (изменение скорости и направления подачи воздуха в батарею, зазоров между ячейками и др.), таков, что при малой скорости потока воздуха $V_m = 1$ м/с не удастся снизить температуру поверхности ячейки ниже $+50^\circ\text{C}$ и необходимо искать другие пути решения этой проблемы.

Возможные пути поисков эффективной системы охлаждения, т.е. создание условий, когда температура самых горячих частей поверхности T_{s4} ниже $+50^\circ\text{C}$, можно получить за счет увеличения h_c – коэффициента теплопередачи или согласно формуле (3) за счет увеличения числа Нуссельта.

Иными словами, возможный путь создания эффективной системы охлаждения дает изучение зависимостей числа Nu и коэффициента теплопередачи h_c от скорости поступающего в систему воздуха V_m при различных значениях зазора между ячейками ($a = 2, 3, 4, 5$ мм). Результаты расчетов Nu и h_c приведены на рис. 5 и рис. 6 соответственно. Видно, что на кривых (рис. 5) наблюдается излом, который соответствует переходу от ламинарного движения к турбулентному. При $a = 2$ мм излом наблюдается в районе $V_m \approx 7 \div 10$ м/с, при $a = 3$ мм – в районе $V_m \approx 5 \div 7$ м/с, при $a = 4$ мм – в районе $V_m \approx 4 \div 5$ м/с, при $a = 5$ мм – в районе $V_m \approx 3 \div 4$ м/с.

Следует отметить, что число Nu при турбулентном движении значительно больше, чем при ламинарном. При этом (см. рис. 3) температура поверхности верхней части ячейки (T_{s4}) при турбулентном движении меньше, чем при ламинарном, т.е. при турбулентном движении поверхность ячейки лучше охлаждается.

Следовательно, нужно создавать условия, когда и при малых скоростях потока воздуха движение будет

турбулентным. Это можно сделать с помощью турбулизаторов, когда на поверхности ячеек создаются различные препятствия (накладки, отдельные лепестки и др.) переводящие ламинарное движение в турбулентное. Подробно такие конструкции турбулизаторов описаны в работе [4]. Результаты исследований с новыми конструкциями турбулизаторов будут рассмотрены в следующих статьях.

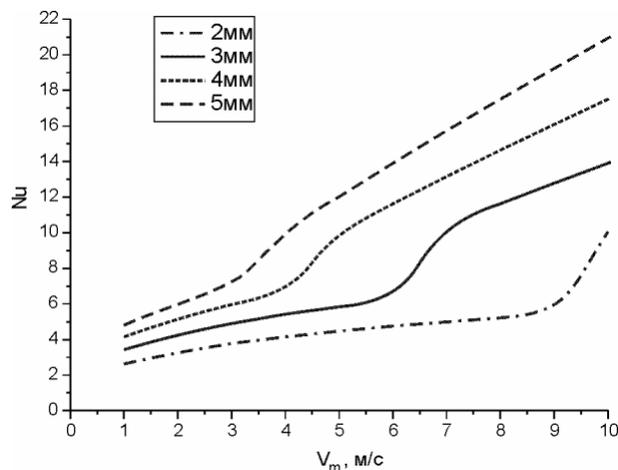


Рис. 5. Зависимость числа Нуссельта от скорости поступающего в систему воздуха V_m ($a = 2, 3, 4, 5$ мм)

Из представленных на рис. 6 зависимостей коэффициента теплопередачи h_c от V_m видно, что при малых скоростях $V_m \leq 3$ м/с величина h_c намного меньше, чем при больших скоростях.

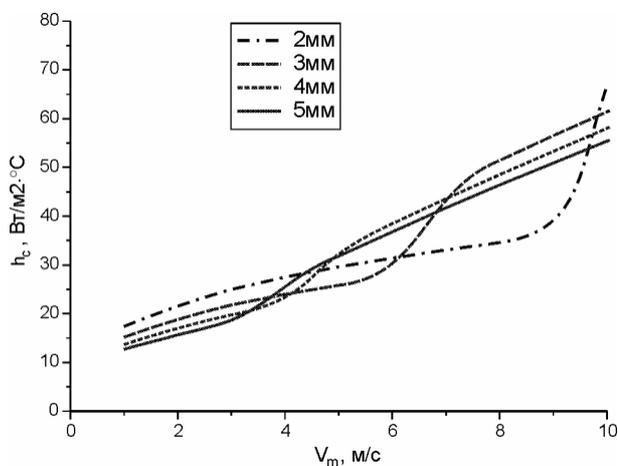


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплопередачи от скорости поступающего в систему воздуха V_m ($a = 2, 3, 4, 5$ мм)

Ранее мы уже отмечали (см. рис. 3), что температура верхней части стенки ячейки намного превышает предельно допустимую температуру $+50^\circ\text{C}$ и снизить ее можно путем увеличения теплопередачи с поверхности батареи.

В 2010 году американские ученые разработали и опубликовали [5] специальное покрытие, позволяющее в 3,5–4 раза увеличить теплопередачу охлаждающих поверхностей. Основу разработки составляют

нано- и микрочастицы оксида цинка, которые с помощью устройств, напоминающих струйный принтер, наносятся на поверхность. В результате напыления на поверхности формируется слой микрочастиц оксида цинка, напоминающих по форме цветки. На поверхности этих цветков образуется еще один слой частиц, уже нанометровых размеров. В дальнейшем нами более подробно будут проведены расчеты и анализ условий увеличения теплопередачи от поверхности, покрытой наночастицами.

На рис. 7 и 8 приведены предварительные результаты изменения температуры поверхности при разных скоростях потока воздуха V_m , рассчитанные для зазора между ячейками $a = 2$ мм. Расчеты выполнены при нижней подаче воздуха для первой (нижней) (T_{s1} -Н) и четвертой (верхней) части ячейки (T_{s4} -Н) (рис. 7), а также при верхней подаче воздуха для первой (нижней) (T_{s1} -В) и четвертой (верхней) части ячейки (T_{s4} -В) (рис. 8) без применения нанопокрyтия и с его применением.

Из рис. 7 и 8 видно, что при нанесении нанопокрyтия снижается температура анализируемой поверхности ячейки. Она в большинстве случаев становится ниже $+50^\circ\text{C}$. Однако даже при нанесении нанопокрyтия температура первой (нижней) части ячейки при верхней подаче воздуха для $V_m = 1$ м/с превышает 50°C .

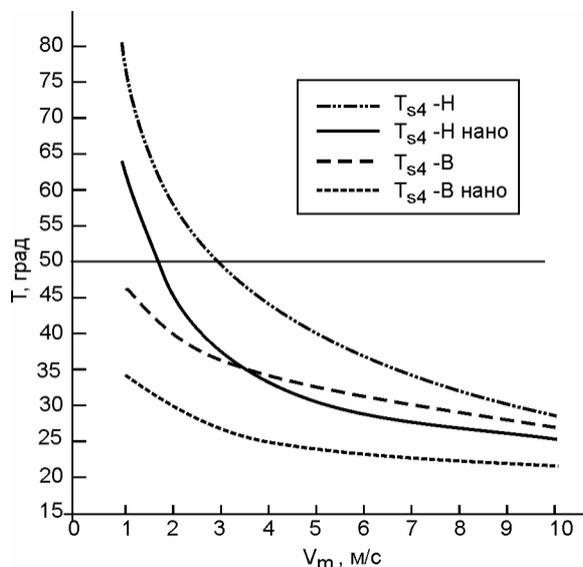


Рис. 7. Температура четвертой (верхней) части ячейки при нижней и верхней подаче воздуха без применения (T_{s4} - Н и T_{s4} - В) и с применением нанопокрyтия (T_{s4} - Н nano и T_{s4} - В nano)

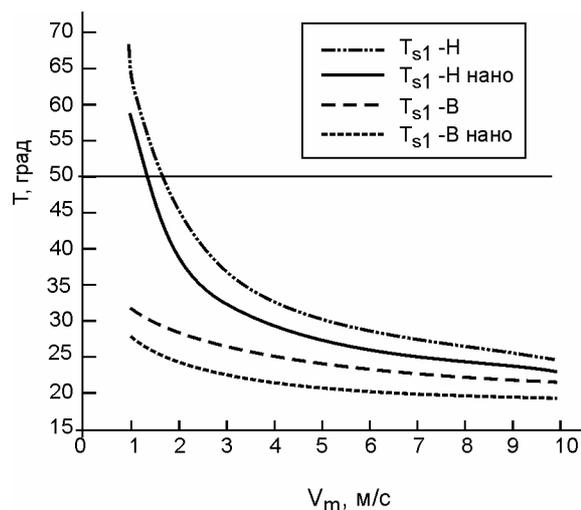


Рис. 8. Температура первой (нижней) части ячейки при нижней и верхней подаче воздуха без применения (T_{s1} - Н и T_{s1} - В) и с применением нанопокрyтия (T_{s1} - Н nano и T_{s1} - В nano)

Литература: 1. Слабоспицкий Р.П., Хажмурадов М.А., Лукьянова В.П. Анализ и расчет системы охлаждения аккумуляторной батареи // Радиоэлектроника и информатика. 2011. №3. С.3-8. 2. Крейт Ф., Блэк У. Основы теплопередачи. М.: Мир, 1983. 512с. 3. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров. Справочник. Москва: Атомиздат, 1979. 216с. 4. Калинин Э.К., Дрейзер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. Машиностроение, 1990. 208с. 5. Hendricks T.J., Krishnan S. et al. Enhancement of pool-boiling heat transfer using nanostructured surfaces on aluminum and cooper // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2010. Vol.53. Issues 15-1. P.3357-3365.

Поступила в редколлегию 12.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф.Кривуля Г.Ф.

Слабоспицкий Ростислав Павлович, д-р физ.-мат. наук, заместитель директора института Физики высоких энергий и ядерной физики (ИФВЭЯФ) Национального Научного Центра Харьковский Физико-технический институт (ННЦ ХФТИ). Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, тел. (057)335-68-85, e-mail: slabospitskiy@kipt.kharkov.ua

Хажмурадов Манап Ахмадович, д-р техн. наук, профессор, начальник отдела Национального Научного Центра Харьковский Физико-технический институт (ННЦ ХФТИ). Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, тел. (057)335-68-46, e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua

Лукьянова Валентина Петровна, ведущий инженер-программист Национального Научного Центра Харьковский Физико-технический институт (ННЦ ХФТИ). Адрес: Украина, 61108, Харьков, ул. Академическая, 1, тел. (057)335-61-48. e-mail: khazhm@kipt.kharkov.ua

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ СО СЛАБЫМ БЛЕСКОМ

КОЖУХОВ А.М.

Описывается совокупность вычислительных методов обработки изображений, полученных оптическими телескопами с ПЗС-камерами, позволяющих провести высокоточную оценку местоположения объектов со слабым блеском. Методы используются в разработанной системе автоматизированного обнаружения новых и известных астероидов. Приводятся результаты работы данной системы.

1. Введение

К категории объектов со слабым блеском относится большинство искусственных спутников Земли и их обломки, а также большая часть малых тел Солнечной системы (астероидов и комет). Изучение объектов со слабым блеском является важной научной задачей с точки зрения решения проблем безопасности новых космических запусков и астероидно-кометной опасности.

На сегодняшний день большинство наблюдений объектов со слабым блеском осуществляется телескопами, оснащенными специальными астрономическими ПЗС-камерами, формирующими при наблюдении серии ПЗС-кадров с изображением одного участка небесной сферы.

Одним из этапов изучения объектов со слабым блеском является оценка их местоположения. При этом существует противоречие между слабым видимым блеском таких объектов и малой апертурой телескопов большинства обсерваторий, как средств их наблюдения. Из-за наличия ненулевого движения данное противоречие не может быть разрешено за счет увеличения экспозиции кадров. Длительное наблюдение отдельных участков неба с последующим сложением полученных кадров приводит к резкому снижению наблюдательного потенциала обсерваторий, что нецелесообразно. Указанное противоречие может быть разрешено путем разработки вычислительных методов обработки изображений, максимально свободных от потерь информации.

2. Анализ литературы

Автору не удалось найти специальных научных работ, описывающих методы обработки изображений, применяемых при обнаружении объектов со слабым блеском. Судя по отдельным упоминаниям (например, в [1]), традиционно применяются методы обработки ПЗС-изображений, принятые в астрономии. Это подтверждается списком программ, рекомендованных для работы Центром малых планет [2]. В него входят

такие известные астрономические программы, как *Astrometrica*, *PinPoint* и *Prizm*.

Анализ возможностей упомянутых выше программ показывает, что к наиболее используемым операциям обработки изображений в рассматриваемых целях следует отнести: накопление сигнала от движущегося объекта; предварительная селекция сигналов от небесных объектов; оценка координат объектов на цифровом изображении; оценка экваториальных координат объектов.

Большинство известных методов накопления сигнала от движущихся объектов невозможно использовать при отсутствии априорных данных о параметрах движения объекта. Это не позволяет применять их при обнаружении новых объектов со слабым блеском. Исключением является метод, описанный в [1]. Однако для обеспечения высокого качества детектирования объектов со слабым блеском он требует получения большого количества (20-30) последовательных кадров для одного участка небесной сферы, что значительно снижает поисковый потенциал телескопа.

Предварительная селекция сигналов на ПЗС-кадре в основном производится путем установления глобального порогового значения, превышающего средний уровень шума на величину, пропорциональную СКО шума [1, 3, 4].

После предварительной селекции в обработку поступают только те пиксели ПЗС-кадра, амплитуда (яркость) которых превышает данное пороговое значение. При этом возникает необходимость проведения дополнительной обработки изображения для выявления групп пикселей, амплитуда которых превысила порог [1, 3].

Существенным недостатком данного подхода, отмеченным в [4], является то, что он больше подходит для телескопов с большими апертурами, где даже сигналы от объектов со слабым блеском имеют сравнительно большое (более 10) отношение «сигнал/шум». Для телескопов с малыми апертурами сигналы от объектов могут иметь малое отношение «сигнал/шум» еще и из-за большего «размытия» сигнала. Поэтому для таких телескопов данный метод не позволяет выделять сигналы от астероидов со слабым блеском с высокой вероятностью.

Другой метод предварительной селекции основан на предположении, что потенциально устойчиво обнаруживаемые сигналы практически всегда находятся в окрестностях локальных максимумов (пиков) изображения на ПЗС-кадре [5]. Однако из-за значительного количества пиков на ПЗС изображении необходимо провести предварительную отбраковку пиков, в окрестностях которых заведомо нет сигнала от небесных объектов.

Методам оценки координат объекта на цифровом изображении посвящена обширная литература. Сейчас наиболее распространены методы оценки положения небесного объекта, которые в том или ином виде

используют в качестве априорных данных различные модели распределения фотонов, принадлежащих сигналу от небесного объекта.

В астрономии все эти методы получили название «аппроксимация функцией рассеяния точки» (англ. PSF-fitting) [3, 5]. В качестве моделей плотности распределения фотонов (функций рассеяния точки) чаще всего используют модель нормального (гауссового) распределения [3, 5, 6], а также модели Лоренца и Моффата [3]. Однако ни один из приведенных методов не рассматривает учет остаточных помеховых фотонов, оставшихся после компенсации помеховой подложки, на которой обычно находится сигнал на ПЗС-кадре.

Высокоточная оценка экваториальных координат объекта обычно проводится дифференциальным методом [3] относительно известных экваториальных координат опорных звезд, положение которых на изображении известно с высокой точностью.

3. Постановка задачи

Наблюдение объектов со слабым блеском осуществляется с помощью оптического средства (телескопа), оснащенного ПЗС-матрицей. Видимое движение объектов на фоне звезд в картинной плоскости телескопа прямолинейно и равномерно, по каждой координате независимо. Изображение объекта со слабым блеском на отдельном кадре ничем не отличается от изображения звезд, находящихся на данном участке неба. На кадрах имеется неравномерно распределенная низкочастотная помеха, форма распределения которой может меняться от кадра к кадру серии. «Размытие» и смещение изображения сигнала от объекта со слабым блеском вследствие турбулентности атмосферы и искажений (аббераций), вносимых оптической системой телескопа.

По результатам наблюдений объектов со слабым блеском на одном участке небесной сферы формируется серия ПЗС-кадров. Серия, в общем случае, может быть разбита на подсерии, время между проведением подсерий значительно больше длительности самих подсерий. Экваториальные координаты участков небесной сферы, соответствующих центрам кадров серии, взаимно смещены из-за ошибок системы наведения и управления телескопом.

4. Цель исследования

Необходимо разработать такую совокупность вычислительных методов обработки изображений для оценки местоположения объектов со слабым видимым блеском телескопами с малой апертурой при приемлемых вычислительных затратах, при которых оценка условной вероятности правильного обнаружения объекта (УВПО) на серии суперкадров будет наибольшей.

5. Метод накопления сигнала от движущегося объекта с неизвестными параметрами движения (метод СКДО)

Энергия сигналов на единичном кадре не всегда позволяет достичь желаемого значения УВПО объектов при заданном значении условной вероятности ложного обнаружения.

Поэтому существует необходимость усовершенствования программного метода сложения кадров с накоплением сигнала от объекта со слабым видимым блеском и неизвестными ненулевыми параметрами видимого движения на серии ПЗС-кадров, реализуемого при приемлемых вычислительных затратах. Метод должен учитывать как наличие у объекта ненулевого видимого движения, так и возможные взаимные смещения ПЗС-кадров в серии, вызванные ошибками наведения и суточного ведения телескопа. Для получения наибольшего энергетического выигрыша сложение кадров должно осуществляться с оптимальными параметрами.

Накопление сигнала предлагается осуществлять в отдельном итоговом суперкадре. В данный суперкадр будет производиться накопление всех соответствующих кадров. Разработанный метод СКДО позволяет учитывать возможный дробный сдвиг между складываемыми кадрами за счет подхода, который можно назвать «площадным». Суть «площадного» подхода заключается в сложении в суммарный суперпиксель долей яркости исходных пикселей, пропорциональных долям площадей исходных пикселей, попадающих в площадь текущего суперпикселя (рис. 1).

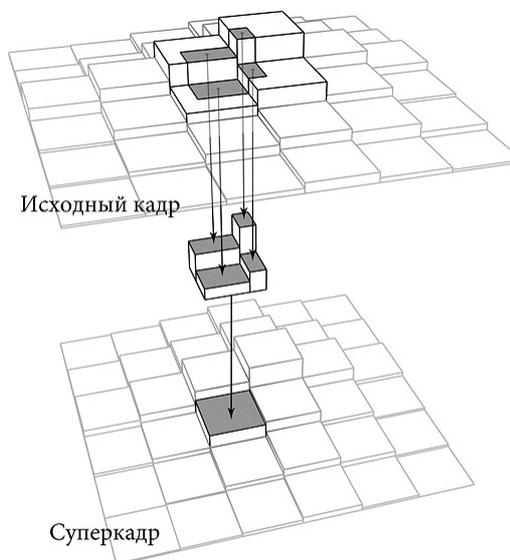


Рис. 1. «Площадной» подход в СКДО

Значения весов соответствующих пикселей исходного кадра образуют матрицу весов вида:

$$\gamma_t = \begin{pmatrix} \gamma_{00t} & \gamma_{01t} \\ \gamma_{10t} & \gamma_{11t} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} \gamma_{00t} &= (1 - |\Delta x_t|)(1 - |\Delta y_t|); \gamma_{10t} = |\Delta x_t|(1 - |\Delta y_t|); \\ \gamma_{01t} &= (1 - |\Delta x_t|)|\Delta y_t|; \gamma_{11t} = |\Delta x_t| \cdot |\Delta y_t|; \\ \Delta x_t &= x_t - E(x_t); \Delta y_t = y_t - E(y_t); \end{aligned}$$

$$\Delta x_t = \hat{V}_x(\tau_t - \tau_0) + \hat{d}x_t; \Delta y_t = \hat{V}_y(\tau_t - \tau_0) + \hat{d}y_t$$

– значения сдвигов текущего кадра относительно базового по соответствующим координатам;

$$\begin{aligned} \hat{d}x_t &= \frac{1}{N'_{\text{первотм}}} \sum_{i=1}^{i=N'_{\text{первотм}}} \sum_{j=1}^{j=N'_{\text{первотм}}} (x_{jt} - x_{i0}); \\ \hat{d}y_t &= \frac{1}{N'_{\text{первотм}}} \sum_{i=1}^{i=N'_{\text{первотм}}} \sum_{j=1}^{j=N'_{\text{первотм}}} (y_{jt} - y_{i0}), \end{aligned}$$

– используемые оценки смещения координат центра текущего кадра относительно координат центра базового кадра; x_{i0} , y_{i0} – координаты i -й отметки базового кадра; x_{jt} , y_{jt} – координаты j -й отметки текущего кадра, отождествленной с i -й отметкой базового кадра; $N'_{\text{первотм}}$ – количество взаимосоответствующих пар отметок на текущем и базовом кадре; \hat{V}_x , \hat{V}_y – используемые оценки скоростей видимого движения объекта в картинной плоскости телескопа по соответствующим координатам; τ_0 – временная привязка кадра, принятого за базовый; τ_t – временная привязка текущего складываемого кадра; $E()$ – операция выделения целой части.

Выбор пикселей, из которых записывается амплитуда, зависит от направления сдвига, т.е. от знаков сдвигов Δx_t , Δy_t .

Для повышения эффективности накопления амплитуды сигнала от объекта в условиях наличия остаточных ошибок оценок взаимного сдвига складываемых кадров используется матрица размытия, представляющая собой цифровой сглаживающий фильтр низких частот [7].

Матрица размытия M_p представляет собой квадратную матрицу размера $(2n + 1) \times (2n + 1)$, где n – размер области пикселей, соседних с конкретным (основным) пикселем текущего кадра, амплитуда которых будет принимать участие в процессе размытия. В элементы M_p записываются выбранные веса

таким образом, что вес центрального элемента, соответствующего размываемому пикселю, всегда равен 1, а веса остальных меньше единицы (рис. 2).

Например, для матрицы размытия размера 3×3 ($n = 1$):

$$M_p = \begin{pmatrix} M_{p00} & M_{p01} & M_{p02} \\ M_{p10} & M_{p11} & M_{p12} \\ M_{p20} & M_{p21} & M_{p22} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

С учетом (1), (2) выражение для расчета суммарной амплитуды пикселя суперкадра $A_{\Sigma ik}$ будет иметь вид:

$$\begin{aligned} A_{\Sigma ik} &= \sum_{t=t_1}^{t_1+N_{\text{СКДО}}-1} \sum_{e=0}^1 \sum_{g=0}^1 \sum_{j_p=0}^{2n} \sum_{i_p=-n}^n (\gamma_{egt} \cdot M_{pjp}(i_p+n) \times \\ &\times A_{(i+i_p+\Delta N_{xt}+e \cdot j_{xt}), (k-j_p+1+\Delta N_{yt}+g \cdot j_{yt})t}), \quad (3) \end{aligned}$$

где $A_{(i+\Delta N_{xt}), (k+\Delta N_{yt})t}$ – амплитуда смещаемого пикселя ПЗС-матрицы с координатами $(i + \Delta N_{xt}), (k + \Delta N_{yt})$ на t -м (текущем) кадре; $\Delta N_{xt} = E(\Delta x_t)$, $\Delta N_{yt} = E(\Delta y_t)$ – приращения номеров пикселей итогового кадра относительно текущего кадра по соответствующим координатам; t_1 – первый кадр подсерии, для которой проводится СКДО; $N_{\text{СКДО}}$ – количество кадров подсерии, участвующих в СКДО;

$$j_{xt} = \begin{cases} -1, & \Delta x_t < 0 \\ 1, & \Delta x_t \geq 0 \end{cases}; \quad j_{yt} = \begin{cases} -1, & \Delta y_t < 0 \\ 1, & \Delta y_t \geq 0 \end{cases}$$

– коэффициенты, определяющие выбор смещаемых пикселей, амплитуда которых записывается в очередной пиксель суперкадра, в зависимости от направления (знака) сдвига складываемого кадра относительно базового по каждой координате.

Согласно формуле (3) в ik -й пиксель суперкадра записываются амплитуды всех пикселей текущего кадра, расположенные в пределах размера матрицы размытия от основного пикселя текущего кадра. При этом вес записываемой амплитуды от каждого пикселя определяется весом соответствующего элемента

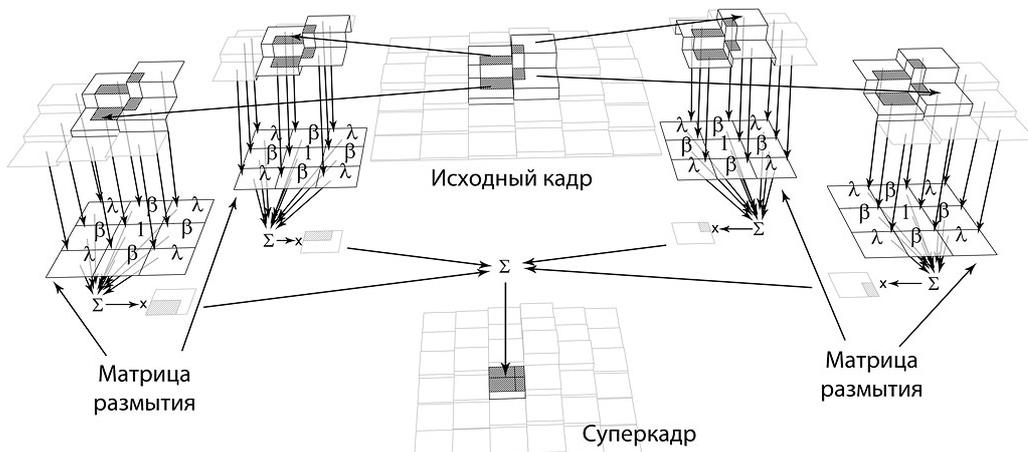


Рис. 2. Применение матрицы размытия при проведении СКДО

матрицы размытия, а также весом основного пикселя, определяемым по формуле (1).

С использованием формулы (3) формирование суперкадра можно организовать при помощи цикла по пикселям суперкадра. Суперкадр может быть сформирован также циклом по пикселям текущего кадра. При этом амплитуда пикселя текущего кадра записывается с различным весом в соответствующие пиксели суперкадра с накоплением. Подробнее метод СКДО описан в работе [8].

Для получения наилучших результатов применения СКДО необходимо использовать матрицу размытия с оптимальными значениями ее элементов. Определение данных значений производится для каждого телескопа отдельно. Метод определения оптимальных значений элементов матрицы размытия изложен в [9].

6. Метод оценки координат объекта на цифровом изображении

В специализированных базах данных оценка координат объектов на небесной сфере представляется в системе экваториальных координат (прямое восхождение – склонение) [10]. При этом результатами наблюдений являются ПЗС-кадры, на которых непосредственно может быть получена только оценка координат объекта в системе координат (СК) ПЗС-кадра.

Исходя из отмеченных особенностей условий наблюдения объектов и формирования ПЗС-кадров следует, что точность оценки экваториальных координат объекта прямо зависит от оценки координат сигнала от него в СК ПЗС-кадра. Поэтому возникает необходимость обеспечить наилучшую точность оценки местоположения сигнала от объекта в СК ПЗС-кадра. Эта оценка должна учитывать как дискретный характер ПЗС-изображения (отдельные пиксели), так и наличие на данном изображении низкочастотной помехи. При использовании метода максимального правдоподобия данную задачу можно представить в виде:

$$L(\Theta) \xrightarrow{x, y} \max, \quad (4)$$

где $L(\Theta)$ – функция правдоподобия; Θ – совокупность параметров объекта (координаты объекта в СК ПЗС-кадра на момент временной привязки ПЗС-кадра, СКО распределения координат падения фотонов на ПЗС-матрицу); x, y – координаты объекта в СК ПЗС-кадра.

При разработке метода считалось, что изображение одиночного объекта (его изображение не пересекается с изображением какого-либо другого объекта) находится в стробе внутрикадровой обработки (СВКО), размер $N_{\text{СВКО}}$ в пикселях которого существенно превышает размер изображения объекта (десятки пикселей). Координаты падения сигнальных фотонов от объекта на ПЗС-матрицу имеют круговое нормальное распределение с математическими ожиданиями x_t, y_t и СКО σ_Φ , а помеховые фотоны формируют наклонную плоскую подложку (рис. 3):

$$f(x, y) = A_{\text{ш}}x + B_{\text{ш}}y + C_{\text{ш}} +$$

$$+ \frac{p_1}{2\pi\sigma_\Phi^2} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma_\Phi^2}[(x-x_t)^2 + (y-y_t)^2]\right\}, \quad (5)$$

где $p_1 = 1 - p_0$ – относительный вес сигнальных фотонов; $A_{\text{ш}}, B_{\text{ш}}, C_{\text{ш}}$ – параметры наклонной плоской помеховой подложки;

$$p_0 = \int_{x_{\text{ни}}}^{x_{\text{ки}}} \int_{y_{\text{нк}}}^{y_{\text{кк}}} (A_{\text{ш}}x + B_{\text{ш}}y + C_{\text{ш}}) dx dy$$

– относительный вес шумовых фотонов ПЗС-матрицы.

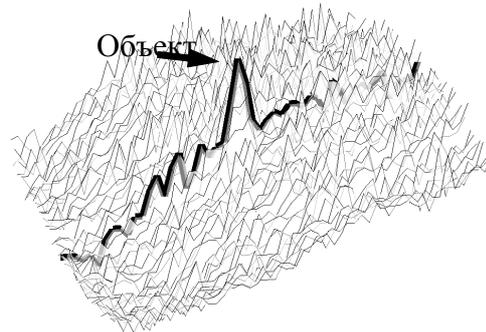


Рис. 3. Изображение объекта (астероида) на плоской наклонной помеховой подложке

С учетом сказанного вероятность $v_{ikt}(\Theta)$ попадания фотонов в пиксели ПЗС-матрицы может быть представлена в виде:

$$v_{ikt}(\Theta) = \int_{x_{\text{ни}}}^{x_{\text{ки}}} \int_{y_{\text{нк}}}^{y_{\text{кк}}} f(x, y) dx dy = I_{ikt\text{ш}} + I_{ikt\text{с}}, \quad (6)$$

где $I_{ikt\text{ш}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 (A_{\text{ш}}x_{ikt} + B_{\text{ш}}y_{ikt} + C_{\text{ш}})$,

$I_{ikt\text{с}} = p_1 F_{x_i}(x_t; \sigma_\Phi^2) F_{y_k}(y_t; \sigma_\Phi^2)$ – вероятности падения в ik -й пиксель ПЗС-матрицы помеховых и сигналь-

ных фотонов; $F_{z_i}(m_z; \sigma^2) = \int_{z_{ki}}^{z_{ки}} N_z(m_z; \sigma^2) dx$;

$$N_z(m_z; \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(z - m_z)^2\right);$$

$\Delta_{\text{ПЗС}} = \Delta_x = \Delta_y$ – размеры области ответственности ik -го пикселя ПЗС-матрицы по координатам x и y

соответственно; $x_{ikt} = \frac{x_{ki} + x_{ни}}{2}$, $y_{ikt} = \frac{y_{кк} + y_{нк}}{2}$ – средние значения координат ik -го пикселя ПЗС-матрицы.

При решении задачи (4) методом максимального правдоподобия с учетом (6), а также с использованием методов теории группированных выборок система уравнений максимального правдоподобия для пикселей исследуемого СВКО, в которых предполагается наличие сигнала, примет вид:

$$\begin{cases} \hat{x}_t = \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt} m_{x_i}^{\text{лок}} / \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt}; \\ \hat{y}_t = \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt} m_{y_k}^{\text{лок}} / \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} v_{ikt}^* \lambda_{ikt}, \end{cases} \quad (7)$$

где $N_{\text{СВКОс}}$ – количество пикселей в исследуемом СВКО, в которых предполагается наличие сигнала;

$v_{ikt}^* = A_{ikt} / \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} A_{ikt}$ – опытная относительная частота

попадания фотонов в ik -й пиксель ПЗС-матрицы в t -м кадре; A_{ikt} – амплитуда ik -го пикселя t -го ПЗС-кадра; \hat{x}_t – оценка координаты x объекта на t -м ПЗС-

кадре; $\lambda_{ikt} = \frac{p_1 F_{yk}(y_t; \sigma_\phi^2) F_{xi}(x_t; \sigma_\phi^2)}{v_{ikt}(\Theta)}$;

$m_{x_i}^{\text{лок}} = m_x + \frac{\sigma^2}{F_{xi}(m_x; \sigma^2)} (N_{x_{ki}}(m_x; \sigma^2) - N_{x_{ni}}(m_x; \sigma^2))$

– локальное математическое ожидание случайной величины на интервале $[x_{ni}, x_{ki}]$ [6].

Возможность разделения СВКО на область помех (пиксели, на которые попали только помеховые фотоны подложки) и область сигнала (пиксели, на которые попали, в том числе, и сигнальные фотоны) приводит к возможности более простой (по отношению к оценке в общей системе уравнений максимального правдоподобия) оценки параметров плоской помеховой подложки – независимой МНК - оценки, которая будет рассмотрена ниже.

Учет плоской помеховой подложки не может полностью исключить помеховую составляющую. Для оценки относительного веса сигнальных фотонов используется стандартная оценка весов дискретной смеси вероятностных распределений [11]:

$$\hat{p}_1 = \frac{1}{N_{\text{СВКОс}}} \sum_{i,k}^{N_{\text{СВКОс}}} \lambda_{ikt}; \quad \hat{p}_0 = 1 - \hat{p}_1, \quad (8)$$

где $N_{\text{СВКОс}}$ – количество пикселей с предполагаемым наличием сигнала в СВКО.

Так как локальное математическое ожидание – это функция от соответствующей искомой координаты, то (7) является системой трансцендентных уравнений, которые могут быть решены методом последовательных приближений [12].

Из выражения (6) следует возможность разделения пикселей СВКО на пиксели, содержащие и не содержащие изображение сигнала. Количество последних равно $N_{\text{СВКОш}}$. Так как плоскостному характеру распределения координат падения помеховых фотонов соответствует плоскостной характер распределения напряжений на выходе ПЗС-матрицы, то опытные частоты плоской помеховой подложки представляются выражением:

РИ, 2012, № 2

$$v_{ikt\text{ш}}^*(\theta_{\text{ш}}) = A_{\text{ш}}^{\text{int}} x_{ikt} + B_{\text{ш}}^{\text{int}} y_{ikt} + C_{\text{ш}}^{\text{int}}, \quad (9)$$

где $v_{ikt\text{ш}}^*$ – опытная частота попадания помеховых фотонов в ik -й пиксель ПЗС - матрицы; $A_{\text{ш}}^{\text{int}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 A_{\text{ш}}$, $B_{\text{ш}}^{\text{int}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 B_{\text{ш}}$, $C_{\text{ш}}^{\text{int}} = \Delta_{\text{ПЗС}}^2 C_{\text{ш}}$, $\theta_{\text{ш}}^T = (A_{\text{ш}}^{\text{int}}, B_{\text{ш}}^{\text{int}}, C_{\text{ш}}^{\text{int}})$ – интегральные параметры плоской помеховой подложки и их вектор; x_{ikt}, y_{ikt} – средние значения координат ik -го пикселя ПЗС-матрицы в пределах СВКО.

Интегральные параметры плоской помеховой подложки $A_{\text{ш}}^{\text{int}}, B_{\text{ш}}^{\text{int}}, C_{\text{ш}}^{\text{int}}$ можно определить с использованием процедуры МНК - оценки.

Полученные значения коэффициентов $\hat{A}_{\text{ш}}^{\text{int}}, \hat{B}_{\text{ш}}^{\text{int}}, \hat{C}_{\text{ш}}^{\text{int}}$ используются для вычитания подложки из сигнала от астероида в данном СВКО перед проведением оценки его местоположения по формулам (7), (8):

$$v_{ikt\text{с}}^* = v_{ikt\text{с}}^* - (\hat{A}_{\text{ш}}^{\text{int}} x_{it\text{с}} + \hat{B}_{\text{ш}}^{\text{int}} y_{kt\text{с}} + \hat{C}_{\text{ш}}^{\text{int}}), \quad (10)$$

где $v_{ikt\text{с}}^*$ – опытная частота попадания фотонов в ik -й пиксель ПЗС-матрицы, принадлежащий области предполагаемого наличия сигнала от небесного объекта; $x_{it\text{с}}, y_{kt\text{с}}$ – прямоугольные координаты привязки ik -го пикселя ПЗС-матрицы, принадлежащего области предполагаемого наличия сигнала от небесного объекта.

Подробное описание метода оценки координат астероида на цифровом изображении представлено в работе [13].

По полученным оценкам координат астероида в СК ПЗС-кадра оцениваются его экваториальные координаты методом, описанным в статье [14].

7. Метод предварительной селекции сигналов от небесных объектов

Уменьшению вычислительных затрат на оценку местоположения объектов со слабым блеском может способствовать разработка метода предварительной селекции, отбраковывающего заведомо ложные сигналы, т.е. сигналы, не принадлежащие небесным объектам. При этом предварительная селекция не должна приводить к значительному количеству пропусков сигналов от небесных объектов, которые могут быть устойчиво обнаружены без ее применения.

При разработке метода принято, что группы сигнальных пикселей расположены вблизи одного из пиков изображения. При этом на этапе предварительной селекции считается, что пространственная форма сигнала не зависит от его положения в пикселе. Также считается, что координаты падения фотонов от небесных объектов имеют круговое нормальное распределение (5) с математическими ожиданиями, соответствующими координатам пика изображения, в окрест-

ности которого сформировано изображение сигнала от небесного объекта.

Разработанный метод предварительной селекции сигналов от небесных объектов основан на сравнении с порогом значений пространственной свертки между принятым излучением, в окрестности пика изображения, и маской, соответствующей форме ожидаемого сигнала. Решающее правило предварительной селекции сигналов от небесных объектов в этом случае принимает вид:

$$A_{it} = \sum_{i,k}^{N_{CBKOC}} v_{ikt} A_{ikt} > \Pi_1,$$

где A_{it} – амплитуда сигнала, подлежащего обнаружению, которая соответствует пространственной свертке между принятым излучением, в окрестности пика изображения, и маской, соответствующей форме ожидаемого сигнала.

При этом пороговое значение Π_1 определяется для каждого кадра как:

$$\Pi_1 = \bar{A}_t + k_{отбр} \hat{\sigma}_{At},$$

где \bar{A}_t – среднее значение пространственной свертки, соответствующее шуму; $\hat{\sigma}_{At}$ – СКО шумовых значений свертки; $k_{отбр}$ – коэффициент пропорциональности, определяемый для каждого телескопа с ПЗС-камерой экспериментально и находящийся обычно в пределах между 2 и 3.

Для оценки \bar{A}_t и $\hat{\sigma}_{At}$ предложена новая модель распределения значений пространственной свертки для текущего кадра. Она представляет собой смесь нормального закона распределения значений пространственной свертки, соответствующих шуму, и «хвоста» из значений пространственной свертки, соответствующих сигналам от небесных объектов, в области больших значений пространственной свертки (рис. 4).

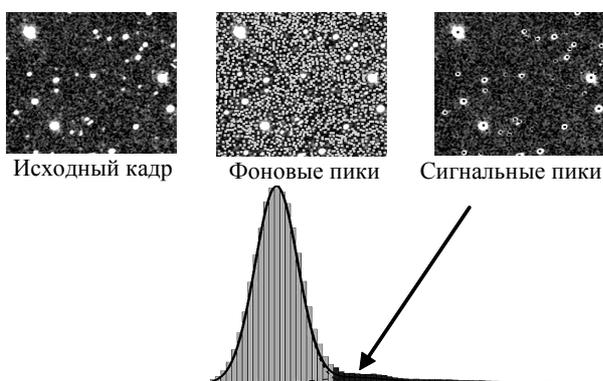


Рис. 4. Решающее правило обнаружения сигналов от небесных объектов

Для определения порога отбраковки пиков изображения, в окрестностях которых отсутствуют сигналы от небесных объектов, производится приближенное вы-

деление нормальной («фоновой») составляющей смеси распределений значений пространственной свертки.

Данное выделение проводится разработанным итерационным вычислительным методом, основанным на свойстве равенства значений медианы и среднего нормально распределенных случайных величин.

Метод описан в работе [15].

8. Вычислительный метод обработки изображений для оценки местоположения объектов со слабым блеском

Исходными данными обработки является набор кадров, сформированных при наблюдении одной области небесной сферы, и звездный каталог, звезды которого будут использоваться в качестве опорных. Исходя из сказанного выше, вычислительный метод обработки изображений для оценки местоположения объектов со слабым блеском соответствует следующей последовательности операций.

1. Разбиение серии кадров на подсерии и определение базовых кадров в них (в качестве таковых используются средние кадры).
2. Если количество кадров в подсериях больше одного, то переход на пункт 3. Иначе – на пункт 4.
3. Сложение кадров с накоплением сигнала от движущихся объектов (формирование суперкадров) для каждой подсерии согласно подразделу 5.
4. Формирование отметок. Для каждого кадра (суперкадра) проводится следующая последовательность действий.
 - 4.1. Предварительная селекция сигналов от небесных объектов согласно разделу 7 данной статьи.
 - 4.2. Оценка координат и амплитуды отметок для локальных максимумов (пиков) изображения, оставшихся после проведения пункта 4.1, согласно разделу 6 данной статьи. На выходе формируется совокупность отметок для каждого кадра (суперкадра).
5. Если количество кадров в подсериях больше одного, то переход на пункт 6. Иначе – на пункт 7.
6. Формирование совокупности отметок, соответствующих каждой подсерии.
7. Отождествление всех совокупностей отметок с звездным каталогом и проведение астрометрической редукции [3] для каждой совокупности отметок в целях получения экваториальных координат отметок и уточненных экваториальных координат центров кадров (суперкадров) для каждой совокупности отметок.
8. Пересчет координат совокупностей отметок, принадлежащих одному кадру (подсерии), в координаты базового кадра.

В результате проведения обработки изображений формируется совокупность отметок, принадлежащих разным кадрам (подсериям). Отметки содержат оценки

амплитуды экваториальные координаты предполагаемых небесных объектов, а также оценки координат данных объектов в системе координат ПЗС-матрицы базового кадра.

9. Результаты применения метода

Разработанные вычислительные методы изображений были применены в автоматизированной системе обнаружения астероидов CoLiTec, в разработке которой принимал участие автор. Система используется в Андрушевской астрономической обсерватории (ААО). С мая 2010 года с применением данной программы наблюдателями ААО было открыто 83 астероида, отослано в Центр Малых планет 42 877 наблюдений малых тел Солнечной системы [16].

С конца ноября 2010 года программа испытывается также в российской дистанционно управляемой обсерватории ISON-NM, расположенной в штате Нью-Мексико (США). Применение программы значительно увеличило количество наблюдаемых астероидов и наблюдений по ним, позволив обсерватории войти в топ-десятку обсерваторий по количеству наблюдений астероидов в 2010 году [17]. По состоянию на 12 октября 2011 года ISON-NM является восьмой обсерваторией мира по количеству наблюдений астероидов в 2011 году [17]. За время эксплуатации к 12 октября 2011 года с использованием CoLiTec было открыто 532 астероида, отослано в Центр Малых планет 129 121 наблюдение малых тел Солнечной системы [16].

10 декабря 2010 года с использованием программы CoLiTec была открыта комета C/2010 X1 (Elenin) [18], ставшая первой кометой, открытой российским астрономом за последние 20 лет. 7 июля 2011 года с использованием CoLiTec была открыта комета P/2011 NO1, ставшая второй кометой, открытой ISON-NM [19].

10. Выводы

Предложен комплексный вычислительный метод обработки изображений, полученных телескопами оптического диапазона, основанный на использовании разработанных отдельных вычислительных методов:

а) метода предварительной селекции сигналов от небесных объектов, основанного на сравнении с порогом значений пространственной свертки между принятым излучением, в окрестности пика изображения, и маской, соответствующей форме ожидаемого сигнала;

б) метода сложения кадров с накоплением сигнала от небесного объекта с ненулевым видимым движением, отличающегося от известных сложением кадров по всему возможному диапазону скоростей движения объектов с применением «площадного» подхода и использованием матрицы размытия для повышения эффективности накопления амплитуды сигнала от объекта со слабым блеском в условиях наличия остаточных ошибок оценок взаимного смещения складываемых кадров;

в) итерационного метода оценки местоположения объекта на цифровом изображении на фоне помехи с неизвестными параметрами, в котором впервые, в рамках технологии группированных выборок, использована модель координат падения помеховых фотонов в виде наклонной плоской помеховой подложки, высота и наклон которой являются дополнительными параметрами, подлежащими оценке в пределах исследуемого строка.

Разработанные вычислительные методы успешно применены при разработке программы автоматизированного обнаружения астероидов CoLiTec, используемой в двух обсерваториях, наблюдающих астероиды (ААО и обсерватория ISON-NM).

В результате работы программы CoLiTec впервые был открыт астероид обсерваторией на территории СНГ (ААО) в автоматизированном режиме и впервые за 20 лет открыта комета наблюдателем с территории СНГ (обсерватория ISON-NM). Всего по состоянию на 12 октября 2011 года, при помощи программы CoLiTec, было послано в Центр Малых планет 171 998 измерений координат астероидов, при этом открыто 615 астероидов и две кометы.

Программный комплекс, использующий разработанные вычислительные методы, может быть полезен в других астрономических обсерваториях Украины и мира, занимающихся наблюдениями астероидов.

Литература: 1. *Yanagisawa T.* Automatic Detection Algorithm for Small Moving Objects// Publications of Astronomical Society of Japan. 2005. 57. P. 399–408. 2. *IAU Minor Planet Center. Guide to Minor Body Astrometry.* <http://www.minorplanetcenter.net/iau/info/Astrometry.html>. 3. *Kouprianov V.* Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects// Advances in Space Research. 2008. Vol. 41, Issue 7. P. 1029–1038. 4. *Starck J.-L., Murtagh F.* Astronomical Image and Data Analysis. Second Edition. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 335 p. 5. *Mighell K.J.* Stellar photometry and astrometry with discrete point spread functions// Monthly Notices of Royal Astronomical Society. 2005. 361. P. 861–878. 6. *Саваневич В.Е.* Определение координат статистически зависимых объектов на дискретном изображении // Радиоэлектроника и информатика. 1999. № 1. С. 4–8. 7. *Гонсалес Р., Вудс Р.* Цифровая обработка изображений. М: Техносфера, 2005. 1072 с. 8. *Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Власенко В. П.* Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров // Системи озброєння та військова техніка. Харків: ХУПС. 2010. Вип. 3(23). С. 154–159. 9. *Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б., Власенко В. П., Ткачев В. Н.* Определение оптимальных значений элементов матрицы размытия для метода сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от движущегося объекта // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. №34. С. 107–115. 10. *IAU Minor Planet Center. Format For Optical Astrometric Observations Of Comets, asteroids and Natural Satellites.* <http://www.minorplanetcenter.net/iau/info/OpticalObs.html>. 11. *Айвазян С.А., Бухштабер В.М., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д.* Прикладная статистика: Клас-

сификация и снижение размерности. М.: Финансы и статистика, 1989. 607 с. **12.** Зализняк В.Е. Основы научных вычислений. Введение в численные методы для физиков. Учебное пособие для вузов. М.: Едиториал УРСС, 2002. 296 с. **13.** Саваневич В. Е., Брюховецкий А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка координат астероида на дискретном изображении // Радиотехника. 2010. Вып. 162. С. 78–86. **14.** Саваневич В. Е., Брюховецкий А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка экваториальных координат астероида по оценкам его координат на ПЗС-кадре // Системы обработки информации: Харків: ХУПС. 2010. Вып. 6(87). С. 172–179. **15.** Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецкий А. Б. Метод предварительного обнаружения сигналов от небесных объектов на цифровом изображении // Системы озброєння та військова техніка. Харків: ХУПС, 2011. Вып. 2(26). С. 169–173. **16.** MPC 70135–76678. http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCArchive/MPCArchive_TBL.html. **17.** Yearly break down of the

observations. <http://www.minorplanetcenter.net/iau/special/CountObsByYear.txt>. **18.** MPEC 2010-X101: COMET C/2010 X1 (ELENIN). <http://www.minorplanetcenter.org/mpec/K10/K10XA1.html>. **19.** MPEC 2011-O10. COMET P/2011 NO1. <http://www.minorplanetcenter.net/mpec/K11/K11O10.html>.

Поступила в редколлегию 12.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гребенник И.В.

Кожухов Александр Михайлович, инженер станции Национального Центра управления и испытания космических средств, Евпатория. Научные интересы: астрометрические наблюдения малых тел Солнечной системы и околоземных космических объектов. Адрес: Украина, 97419, АР Крым, Евпатория-19, в/г 189, общ. 5, к. 12, e-mail: skinny2@rambler.ru.

УДК519.6:004.932

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ С ЛОКАЛЬНО НЕИЗМЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ВИДИМОГО ДВИЖЕНИЯ

БРЮХОВЕЦКИЙ А. Б.

Описываются вычислительные методы обработки данных, обеспечивающие высокие показатели качества автоматизированного обнаружения объектов с локально неизменными параметрами видимого движения. Данные методы были успешно использованы в разработанной системе автоматизированного обнаружения астероидов. Приводятся результаты применения данной системы для обнаружения малых тел Солнечной системы.

1. Введение

Задача обнаружения объектов в околоземном пространстве и в пределах Солнечной системы требует проведения постоянных наблюдений значительных областей небесной сферы. При этом существует противоречие между современным уровнем развития наблюдательной техники, позволяющей оперативно получить снимки больших областей неба, и устаревшими визуальными методами обнаружения объектов на данных снимках.

Это противоречие можно разрешить путем разработки новых вычислительных методов обработки данных для обнаружения объектов.

2. Анализ литературы

Оценка видимого блеска на ПЗС-кадрах традиционно производится при помощи дифференциальной фоторедукции. В [1] описано проведение дифференциальной фоторедукции с использованием полиномиальной фотометрической модели. Вместе с тем в данной работе не был рассмотрен вопрос оценки точности

полиномиальной модели для разных диапазонов яркостей сигналов объектов.

Теория межкадровой обработки получила свое развитие в [2 – 4]. Однако данные работы в основном посвящены обработке радиолокационных данных, и разработанные в них вычислительные методы требуют дополнительной адаптации для их использования для автоматизированного обнаружения объектов с локально неизменными параметрами движения на серии цифровых изображений (ПЗС-кадров).

3. Постановка задачи

Данные, используемые для обнаружения объектов с локально неизменными параметрами движения, являются результатом проведенной внутрикадровой обработки ПЗС-кадров и представляются в виде совокупностей отметок каждого кадра исследуемой серии. Наличие отметки характеризует решение, принятое на этапе внутрикадровой обработки по данным дискретного кадра, сформированного телескопом с ПЗС-камерой. Данное решение свидетельствует о наличии во входном излучении сигнала с определенными параметрами и энергией, превышающей порог внутрикадровой обработки.

Отметка Y_{it} (i –я отметка t –го кадра) содержит оценки параметров выделенного сигнала. Они всегда содержат оценки координат χ_{it} . Без технических затруднений в состав отметки может быть включена оценка амплитуды A_{it} . Тем самым $Y_{it} = \{A_{it}, \chi_{it}\}$. При этом оценки координат ($\chi_{it} = \{(x_{it}, y_{it}), (\alpha_{it}, \delta_{it})\}$) содержат оценки x_{it}, y_{it} координатной привязки i –й отметки t –го кадра, а также оценки экваториальных координат α_{it}, δ_{it} для данной отметки. Оценки местоположения отметок на ПЗС-кадре определяются с ошибками, величина которых для одной серии кадров может считаться постоянной. Данные ошибки вызваны искажениями формы сигнала из-за неравномерности часового ведения при формировании кадров, а также влиянием атмосферы (размытие изображения объекта) и методическими ошибками используемого метода оценки местоположения сигналов на ПЗС-кадре.

Оценка амплитуды A_{it} может быть определена путем вычисления пространственной свертки принятого излучения с ожидаемой формой сигнала в пределах строба внутрикадровой обработки, в котором предполагается наличие сигнала [5].

4. Цель исследования

Необходимо разработать такую совокупность вычислительных методов обработки данных (отметок) для автоматизированного обнаружения объектов с локально неизменными параметрами движения, которая при приемлемых вычислительных затратах, точностных характеристиках и заданной условной вероятности ложного обнаружения (УВЛО) объекта обеспечивает максимальную условную вероятность его правильного обнаружения (УВПО).

Для решения данной задачи были разработаны следующие вычислительные методы.

5. Метод оценки видимого блеска объекта по амплитуде его сигнала на ПЗС-кадре

Для принятия решения об обнаружении объекта, движущегося по траектории видимого движения с определенными параметрами, обычно используют некую энергетическую характеристику сигналов на разных кадрах серии. Часто в качестве такого параметра выступает амплитуда сигнала серии. В рассматриваемом случае данный подход нецелесообразен, так как, согласно постановке задачи, возможна большая разница амплитуд сигнала от одного и того же объекта на серии кадров. Поэтому было предложено в качестве подобной энергетической статистики использовать оценку видимого блеска сигнала в звездных величинах, которая слабо меняется за время формирования серии кадров.

Так как большинство объектов с локально неизменными параметрами движения имеют малое значение видимого блеска, то разрабатываемый вычислительный метод оценки видимого блеска сигналов от них должен обеспечить наивысшую точность оценки видимого блеска в области малых амплитуд сигнала (малые значения видимого блеска) без потерь в точности оценки видимого блеска в области больших амплитуд сигнала (большие значения видимого блеска).

Традиционно оценку видимого блеска проводят с помощью однодиапазонной модели фотометрического пересчета вида:

$$\hat{m}_{it} = m_{0t} + k_{\text{фот}1t} A_{\ell\text{git}}, \quad (1)$$

где $A_{\ell\text{git}} = -2,5\ell g A_{it}$ – измеренный видимый блеск опорной звезды (звезды из звездного каталога с известной оценкой видимого блеска); A_{it} – амплитуда сигнала на ПЗС-кадре, соответствующего оптическому сигналу от i -й опорной звезды; \hat{m}_{it} – оценка звездной величины сигнала от i -й опорной звезды на t -м кадре; m_{0t} – фотометрический нуль-пункт (видимый блеск звезды, оптический сигнал от которой при данных условиях наблюдения соответствует отметке с

единичной амплитудой); $k_{\text{фот}1t}$ – коэффициент пересчета [1].

Неизвестные величины из выражения (1) (m_{0t} и $k_{\text{фот}1t}$) определяются при помощи МНК.

На качество оценки видимого блеска астероида большое влияние оказывает количество опорных звезд и диапазон значений их звездных величин. Чем больше количество звезд и чем шире указанный диапазон, тем с большей точностью и в большем диапазоне яркостей будет проводиться оценка видимого блеска.

Согласно предварительным экспериментальным исследованиям использование единой оценки для видимого блеска (1) для всего диапазона звездных величин может привести к дополнительным ошибкам оценивания. Поэтому представляется целесообразным проводить оценку видимого блеска отдельно для звезд с большим блеском и отдельно для звезд с малым блеском.

В этом случае можно использовать кусочно-линейную модель фотометрического пересчета с двумя диапазонами:

$$\begin{cases} \hat{m}_{it} = m_{01t} + k_{\text{фот}1t} A_{\ell\text{git}}, & \text{при } A_{it} \geq A_{\text{кпт}}; \\ \hat{m}_{it} = m'_{1t} + k_{\text{фот}2t} (A_{\ell\text{git}} - \bar{A}_{\ell\text{git}}), & \text{при } A_{it} < A_{\text{кпт}}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\bar{A}_{\ell\text{git}} = -2,5\ell g A_{\text{кпт}}$; $A_{\text{кпт}}$ – критическое значение амплитуды сигнала, для амплитуд меньше которого однодиапазонная МНК-оценка отражает соотношение между данными параметрами с ошибками, превышающими предварительно заданное значение; m'_{1t} – оценка видимого блеска, соответствующая критическому значению амплитуды.

Оптимальное критическое значение амплитуды определяется решением оптимизационной задачи методом Фибоначчи по критерию минимума суммы квадратов невязок между каталожным и оценочным значением видимого блеска звезд.

Подробнее вычислительный метод изложен в [6].

6. Двухэтапный иерархический вычислительный метод предварительного обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения на серии ПЗС-кадров

Одной из главных особенностей условий наблюдения объектов с локально неизменными параметрами видимого движения является наличие в обрабатываемых данных значительного количества отметок от звезд, которые на отдельном кадре ничем не отличаются от отметок от объектов с локально неизменными параметрами движения, что серьезно затрудняет или делает невозможными применение известных методов обнаружения движущихся объектов на серии кадров. Поэтому представляется целесообразным провести предварительную отбраковку сигналов, сформированных звездами перед проведением обнаружения объектов с локально неизменными параметрами видимого движения.

Слабый видимый блеск большинства подобных объектов влечет за собой использование низких порогов внутрикадровой обработки и большое количество обрабатываемых отметок даже после отбраковки отметок, сформированных сигналами от звезд. В целях стабилизации вычислительных затрат на приемлемом уровне используется многоэтапная реализация предложенного многозначного преобразования координат объектов с локально неизменными параметрами движения. В этом случае, в отличие от известных методов обнаружения движущихся объектов, на этапе межкадровой обработки имеет место линейная зависимость вычислительной сложности от количества обрабатываемых отметок. При этом вероятность обнаружения подвижных объектов повышается практически до вероятности обнаружения неподвижных.

Многозначное преобразование позволяет накопить сигналы вдоль всех возможных траекторий движения небесных тел. Физически наблюдаемая область пространства, в соответствии с принятой моделью движения, разбивается на пересекающиеся пространственно-временные области (пространственные области, перемещающиеся от кадра к кадру) так, чтобы из одной из них объект за время обнаружения не вышел. Каждой области отводится накопитель, а сигналы от небесных объектов накапливаются во всех накопителях областей, которым они принадлежат. При реализации метода в качестве модели видимого движения объекта используется модель прямолинейного и равномерного движения объекта на плоскости. На первом этапе отдельные траектории объединяются в классы (в один класс входят все траектории, соответствующие одной прямой). Затем исследуются соответствующие пространственные области. При принятии решения о возможном наличии небесного тела на одной из исследуемых прямых используется второй этап – исследование пространственно-временных областей, принадлежащих выделенной прямой (рис. 1).

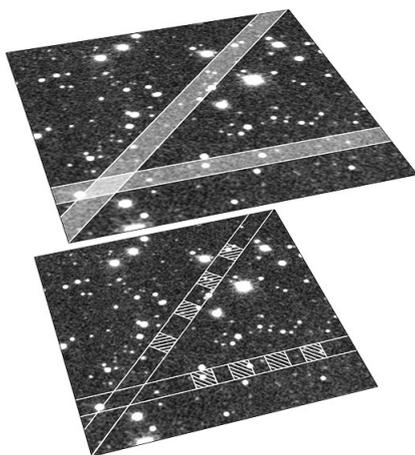


Рис. 1. Двухэтапность метода предварительного обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения

В используемой реализации многозначного преобразования, допускающего многоэтапную реализацию, на первом этапе накопление статистик производится в

пространстве «траверсный угол – траверсная дальность» траектории, на втором – в пространстве «начальное положение – скорость».

Первый этап преобразования представляет собой модификацию преобразования Хаффа (Hough) [4], где геометрические места точек, образующих прямую линию (рис. 2), в пространстве «траверсный угол – траверсная дальность» представляют собой синусоидальные кривые (рис. 3), а прямая линия, на которой лежат данные точки (см. рис. 2), преобразуется в точку пересечения данных кривых (см. рис. 3).

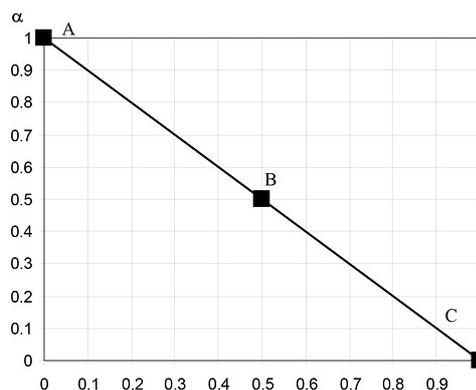


Рис. 2. Изображение отрезка

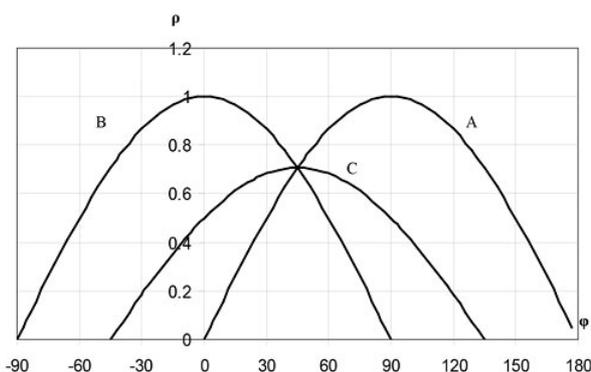


Рис. 3. Отображение точек отрезка в плоскость траверсных углов и дальности

Перед проведением предварительного обнаружения объектов с локально неизменными параметрами движения производится отбраковка объектов, неподвижных на серии кадров. Объект считается неподвижным на серии кадров, если координаты соответствующих ему отметок на любом из кадров отличаются одна от другой не более чем на наперед заданное значение радиуса неподвижности (рис. 4).

Решение о предварительном обнаружении объекта с локально неизменными параметрами движения при наличии его отметки на K из T кадров принимается согласно решающему правилу (РП) (7):

$$\sum_{i=1}^K A_{t(i)} \geq \frac{1}{(A_{\theta_{\text{ср}}} - A_{\text{лоср}})} \times \left(\ln \Pi_{\text{ТР}} + K(A_{\text{лоср}}^2 - A_{\theta_{\text{ср}}}^2) - (T - K) \ln \frac{1-D}{1-F} \right), \quad (3)$$

где $A_{t(i)}$ – амплитуда отметки от i -го сигнала на t -м кадре; $A_{\theta_{cp}}$ – среднее значение амплитуды отметки от астероида с параметрами θ_m ; $A_{\text{лоср}}$ – среднее значение амплитуды ложной отметки; $\Pi_{\text{ГР}} = \frac{(A_{\text{лоср}} + A_{\theta_{cp}})}{2}$

– порог обнаружения объекта с локально неизменными детерминированными параметрами движения; D – условная вероятность правильного обнаружения сигнала от объекта на кадре; F – условная вероятность ложного формирования отметки на кадре.

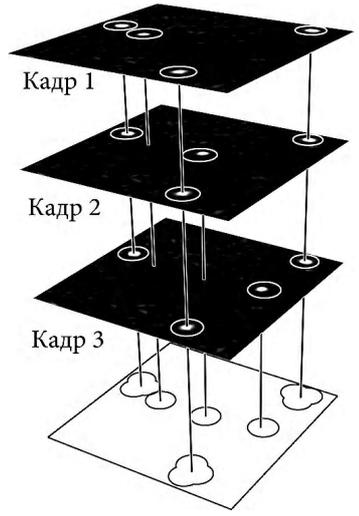


Рис. 4. Формирование внутреннего каталога неподвижных объектов

В качестве амплитуды отметок в РП обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения используется его оценка видимого блеска.

Факт наличия ошибок оценки координат астероидов на этапе накопления данных вдоль возможных траекторий движения учитывается путем организации полного покрытия пространства параметров траектории. Покрытие считается полным, если объект на серии кадров не выйдет за пределы хотя бы одного пространственно-временного строба второго этапа. Оптимальным полным считается полное покрытие, обеспеченное минимальным количеством пространственно-временных стробов (минимальное полное покрытие).

Минимальное полное покрытие можно организовать в случае выполнения условия равенства размеров стробов по траверсной дальности $\Delta\rho$ и начальному положению Δs_0 [4]:

$$\Delta\rho = \Delta s_0. \quad (4)$$

Шаг дискретизации по траверсному углу при этом составляет:

$$\Delta\varphi = 2\pi / (E[\pi/\gamma] + 1), \quad (5)$$

где $E[x]$ – целая часть числа x ; $\gamma = \frac{0,5\Delta\rho - 5\sigma_x}{0,5R}$; σ_x

– СКО оценки координат отметок; R – размер зоны обзора по координате x .

В данной постановке шаг дискретизации по траверсной дальности является постоянным для каждого значения φ . Если шаг дискретизации по ρ для разных значений φ сделать в общем случае различным, способ расчета j согласно выражению (5) использовать нельзя.

Значение шага по скорости определяется следующим образом:

$$\Delta v = (\Delta s_0 - 10\sigma_x) / [(T-1)\tau], \quad (6)$$

где τ – время между двумя последовательными кадрами.

При организации минимального полного покрытия с учетом ошибок оценки координат количество стробов по траверсной дальности или начальному положению увеличится, так как реальный сдвиг между соседними стробами составит на примере траверсной дальности:

$$\Delta\rho_2 = \Delta\rho - 5\sigma_x, \quad (7)$$

а индекс строба, в который попадает отметка, определяется выражением:

$$j = E\left(\frac{\rho - \rho_{\min}}{\Delta\rho_2}\right), \quad (8)$$

где ρ – значение траверсной дальности данной отметки для текущего шага по траверсному углу; ρ_{\min} – минимальное из рассматриваемых значений траверсной дальности в данной серии кадров.

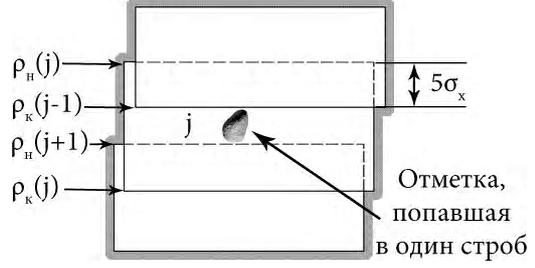


Рис. 5. Попадание статистики в один строб по траверсной дальности в случае полного покрытия

При организации минимального полного покрытия с учетом ошибок оценки координат возможна ситуация, когда отметка при одном значении траверсного угла или скорости может попасть не в один, а в два или даже три строба по траверсной дальности или начальному положению из-за имеющегося взаимного перекрытия соседних стробов.

Количество стробов, в которые попадает отметка, зависит от значения параметров самой отметки, размера стробов ($\Delta\rho$, Δs_0) и значения СКО оценки координат σ_x .

На рис. 5 показана ситуация, когда стробы, соседние с j -м стробом ($j-1$ -й и $j+1$ -й стробы), не перекрываются друг с другом. Это возможно в случае, если размер строба больше, чем удвоенный размер зон взаимного перекрытия соседних стробов с j -м стробом, т.е. когда выполняется условие:

$$\Delta\rho \geq 10\sigma_x. \quad (9)$$

Из рис. 6 видно, что отметка может попасть кроме j -го еще и в $j-1$ -й строб в случае выполнения следующего условия:

$$\rho \leq \rho_{kj-1}, \quad (10)$$

где $\rho_{kj-1} = \rho_{\min} + (j-1) \cdot \Delta\rho_2 + \Delta\rho$ – максимальное значение траверсной дальности, соответствующей $j-1$ -му стробу по траверсной дальности.

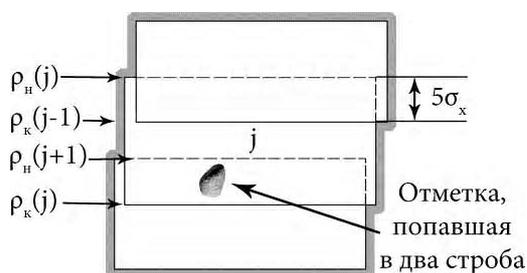


Рис. 6. Попадание статистики в два строба по траверсной дальности в случае полного перекрытия

Участок перекрытия j -го и $j+1$ -го стробов входит в описанную выше область, но только для $j+1$ -го строба, поэтому проверка еще одного условия для него не требуется.

В случае, показанном на рис. 7, стробы, соседние с j -м стробом, взаимно перекрываются. Это возможно в случае, если:

$$5\sigma_x \leq \Delta\rho \leq 10\sigma_x. \quad (11)$$

При этом отметка может попасть в три строба (j -й, $j-1$ -й и $j+1$ -й) только в случае верности неравенства:

$$\rho \geq \rho_{nj+1}, \quad (12)$$

где $\rho_{nj+1} = \rho_{\min} + (j+1) \cdot \Delta\rho_2$ – минимальное значение траверсной дальности, соответствующее $j+1$ -му стробу по траверсной дальности.

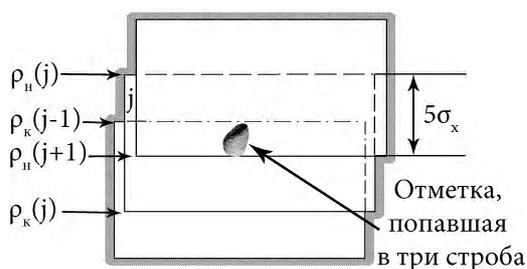


Рис. 7. Попадание статистики в три строба по траверсной дальности в случае полного перекрытия

При невыполнении условия (12) отметка записывается только в j -й и $j-1$ -й стробы.

Следует заметить, что попадание отметки более чем в три строба невозможно, так как при $\Delta\rho \leq 5\sigma_x$ стробы начнут накладываться один на другой ($\Delta\rho_2 \leq 0$, см. формулу (7)).

Приведенные выше условия справедливы также и для анализа попадания отметки в несколько стробов по начальному положению, который проводится на втором этапе обнаружения. Подробнее метод описан в [7].

7. Амплитудно - координатный вычислительный метод обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения и оценки параметров его траектории

При использовании двухэтапной реализации иерархического вычислительного метода для предварительного обнаружения объектов с локально неизменными параметрами движения для снижения вычислительных затрат обнаружение-измерение параметров их траекторий проводится со сравнительно небольшой точностью. Это приводит к необходимости уточнения параметров траектории предварительно обнаруженного объекта. Также, в целях повышения показателей качества обнаружения, требует уточнения предварительное решение об обнаружении объекта. В связи с этим возникает необходимость разработки вычислительного метода оценки параметров траектории предварительно обнаруженного объекта с локально неизменными параметрами движения с последующей отбраковкой ложных траекторий.

При этом РП обнаружения объекта, используемое в методе, может быть синтезировано по критерию Неймана-Пирсона, а РП оценки локально неизменных параметров движения объекта (координаты начального положения и скорости по каждой координате) – по критерию максимального правдоподобия.

Согласно постановке задачи, объект с локально неизменными параметрами движения движется независимо по каждой координате. Поэтому задачу определения параметров траектории по двум координатам можно свести к раздельному определению параметров движения по каждой координате. При этом задача максимально правдоподобной оценки параметров траектории объекта сводится к их МНК-оценке.

Суммарная остаточная дисперсия $\sigma_{\hat{\theta}_j}^2$ оценки координат сигнала от объекта, движущегося по j -й траектории, имеет вид:

$$\sigma_{\hat{\theta}_j}^2 = \sigma_{\hat{\theta}_{jx}}^2 + \sigma_{\hat{\theta}_{jy}}^2, \quad (13)$$

где $\sigma_{\hat{\theta}_{jx}}^2$ и $\sigma_{\hat{\theta}_{jy}}^2$ – дисперсии оценки соответствующих координат.

Дисперсия оценки амплитуды сигнала от объекта для j -й траектории $\sigma_{\hat{\theta}_{ja}}^2$, исходя из постановки задачи, определяется как:

$$\sigma_{\hat{\theta}_{ja}}^2 = \sum_{t=1}^T (A_{kt(j)} - A_{\hat{\theta}_{jcc}})^2 / (T-1), \quad (14)$$

где $A_{\hat{\theta}_{jcc}} = \sum_{t=1}^T A_{kt(j)} / T$ – среднее значение амплитуды сигналов от объекта, соответствующих j -й траектории.

В качестве амплитуды сигналов от объектов в данном вычислительном методе также используется оценка видимого блеска астероида в звездных величинах.

С учетом (15) и (16) РП обнаружения астероида на серии кадров при условии наличия отметки от астероида на всех кадрах можно представить в виде:

$$\sum_{t=1}^T \gamma_{tjx} (x_{kt(j)} - \hat{x}_{jt})^2 + \sum_{t=1}^T \gamma_{tjy} (y_{kt(j)} - \hat{y}_{jt})^2 + \sum_{t=1}^T \gamma_{ja} (A_{kt(j)} - A_{\hat{\theta}_{jcc}})^2 \geq \Pi_{tre}, \quad (15)$$

где Π_{tre} – порог обнаружения астероида, определяемый экспериментально; $\gamma_{tjx} = 1/\sigma_{tjx}^2$, $\gamma_{tjy} = 1/\sigma_{tjy}^2$ – весовые коэффициенты, прямо пропорциональные точности оценки координат объекта; $\gamma_{ja} = 1/\sigma_{ja}^2$ – весовой коэффициент, зависящий от точности оценки амплитуды сигналов.

Весовые коэффициенты γ_{tjx} , γ_{tjy} , γ_{ja} зависят от положения объекта на кадре и отношения «сигнал/шум» и в общем случае не известны. В их качестве предлагается использовать соответствующие оценки. Данные оценки для каждого кадра представляются как полиномиальные зависимости от координат в СК ПЗС-матрицы и амплитуды сигналов.

Для случая ненулевой вероятности пропуска отметки от астероида на отдельных кадрах серии РП (15) принимает вид:

$$\sum_{t=1}^K \gamma_{tjx} (x_{kt(j)} - \hat{x}_{jt})^2 + \sum_{t=1}^K \gamma_{tjy} (y_{kt(j)} - \hat{y}_{jt})^2 + \sum_{t=1}^K \gamma_{ja} (A_{kt(j)} - A_{\hat{\theta}_{jcc}})^2 \geq \Pi'_{tre}(K), \quad (16)$$

где $\Pi'_{tre}(K) = \Pi_{tre} - \sum_{t=K+1}^T \ell_n \frac{1 - D_{\theta t(j)}}{1 - F_t}$ – порог обнаружения астероида при условии формирования отметок от него на K из T кадров.

Решающие правила (15), (16) для обнаружения траектории астероида предписывают на каждом кадре выбирать "лучшую" отметку для продолжения траектории.

"Лучшая" отметка должна иметь не очень большие отклонения своего положения от траектории объекта (кинематическая составляющая), а значение амплитуды «лучшей» отметки должно не очень сильно отличаться от амплитуды других отметок, принадлежащих данной траектории (энергетическая составляющая).

Применение в РП подобной энергетической составляющей связано с большим разбросом уровня блеска у большинства объектов с локально неизменными параметрами движения (возможность наличия на серии ПЗС-кадров объектов с большим и малым видимым блеском), что приводит к невозможности использования в качестве статистики непосредственно амплитуд отметок от объекта с локально неизменными параметрами движения.

Для устранения возможности появления большого количества ложных обнаружений траекторий объектов, имеющих околонулевые оценки скорости, принятие решения об обнаружении объекта с локально неизменными параметрами движения производится только для тех траекторий, модуль скорости которых превысил предварительно заданное критическое значение минимальной скорости объекта. В противном случае траектории считаются ложными.

Подробнее метод описан в работе [8].

8. Использование разработанных вычислительных методов в программе автоматизированного обнаружения астероидов CoLiTec

Входными данными программы CoLiTec являются серия ПЗС-кадров с изображением участка небесной сферы, а также звездный каталог. В модуле внутрикадровой обработки производится учет дефектных пикселей ПЗС-матрицы; разбиение кадров на подсерии с определением базового кадра; сложение кадров подсерий с накоплением сигнала от движущегося объекта с получением суперкадров согласно методу описанному в [9]; предварительная селекция сигналов от небесных объектов на суперкадрах.

Затем производится оценка координат и амплитуд сигналов на суперкадрах (формирование отметок) по методу, описанному в [10]; объединение суперкадров одной подсерии согласно [9]; оценка экваториальных координат объектов методом, представленным в [11]. Полученные данные представляются в виде совокупности отметок. В модуле формирования внутреннего каталога неподвижных объектов (внутренний каталог) отбраковываются объекты, неподвижные на серии кадров изложенным методом.

Отметки от неподвижных объектов отождествляются с объектами звездного каталога в модуле решением венгерским методом задачи о назначениях на двудольном графе, одна доля которого представляет отметки кадра, а другая – объекты звездного каталога.

В модуле оценки видимого блеска объектов производится его оценка методом, описанным в [6] и в данной работе; формирование порога отбраковки по видимому блеску. В модуле отбраковки по видимому блеску оставляются только те отметки, оценка видимого блеска которых не превышает значение указанного порога.

В модуле предварительного обнаружения траекторий обнаруживаются траектории на основе накопления

статистик, пропорциональных энергии сигналов, вдоль возможных траекторий движения объекта согласно описаному выше двухэтапному иерархическому методу. В результате работы модуля формируются совокупности отметок, принадлежащие одному объекту с ненулевым видимым движением.

В модуле амплитудно-координатного обнаружения производится МНК-оценка параметров обнаруженных траекторий, а также принятие решения о наличии траекторий, сформированных астероидами на основе РП (16).

В модуле визуального контроля результата наблюдателю предоставляется возможность окончательного принятия решения о принадлежности траектории астероиду.

9. Результаты применения программы CoLiTec

Проверка работоспособности программы проводилась на базе Андрушевской астрономической обсерватории (ААО) и российской дистанционно управляемой обсерватории ISON-NM. В ходе эксперимента с мая 2010 по октябрь 2011 года в ААО было открыто 83 новых астероида [12], в том числе первое открытие астероида в автоматизированном режиме в СНГ. Применение программы в обсерватории ISON-NM значительно увеличило количество обнаруживаемых астероидов, при этом в период с декабря 2010 по октябрь 2011 года было открыто 532 новых астероида [12]. Также за этот период было открыто две кометы. 10 декабря 2010 года с использованием программы была открыта комета C/2010 X1 (Elenin) [13], ставшая первой кометой, открытой российским астрономом с 1990 года. 7 июля 2011 года была открыта комета P/2011 NO1, ставшая второй кометой, открытой данной обсерваторией [14].

10. Выводы

Разработанные вычислительные методы обработки данных для автоматизированного обнаружения объектов с локально неизменными параметрами движения были применены при создании первой на территории СНГ программы автоматизированного обнаружения астероидов CoLiTec. При этом были использованы следующие вычислительные методы, в разработке которых принимал участие автор.

1. Вычислительный метод обработки данных для оценки видимого блеска объекта. Метод основан на МНК-оценке коэффициентов впервые предложенной двухдиапазонной кусочно-линейной модели зависимости значения видимого блеска объекта от логарифма амплитуды отметки от данного объекта на ПЗС-кадре. Координаты точки перегиба двухдиапазонной кусочно-линейной модели (критическое значение амплитуды) определяются решением методом Фибоначчи оптимизационной задачи по критерию минимума суммы квадратов невязок между каталожным и оценочным значением видимого блеска звезд.

2. Двухэтапный иерархический вычислительный метод обработки данных для предварительного обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения. Метод обеспечивает накопление данных

вдоль траекторий объектов с неизвестными параметрами движения путем использования предложенного многозначного преобразования координат объектов. За счет этого значения показателей качества обнаружения объектов с ненулевым видимым движением при использовании метода соответствуют значениям показателей качества обнаружения звезд (объектов с нулевым видимым движением). Перед проведением предварительного обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения производится отбраковка объектов, неподвижных на серии кадров. Объект считается неподвижным на серии кадров, если координаты соответствующих ему отметок на любом из кадров отличаются одна от другой не более чем на наперед заданное значение радиуса неподвижности.

3. Амплитудно-координатный вычислительный метод обработки данных для обнаружения объекта с локально неизменными параметрами движения и оценки параметров его видимого движения. В методе для принятия решения о наличии объекта необходимо, чтобы координаты отметок, предварительно отнесенных к одному объекту, имели в среднем небольшое отклонение от предполагаемой траектории (кинематическая составляющая), а амплитуды данных отметок не должны значительно отличаться друг от друга (энергетическая составляющая).

Обнаружение объекта производится после МНК-оценки параметров его траектории. Вес энергетической составляющей определяется не значением амплитуд отметок, а значением взаимных флуктуаций оценок видимого блеска объекта. Это связано с большим разбросом значений амплитуды отметок от объектов на кадрах одной серии в связи возможными с быстрыми изменениями условий наблюдения.

Успешное применение программы CoLiTec для обнаружения астероидов и комет (первое в СНГ обнаружение нового астероида в автоматизированном режиме, первое открытие новой кометы российским астрономом за 20 лет) подтверждает достоверность данных вычислительных методов. Программа, использующая предложенные вычислительные методы, может быть использована и в других астрономических обсерваториях Украины и мира, занимающихся наблюдениями астероидов.

Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на повышении эффективности разработанных методов (уменьшение вычислительных затрат, снижение уровня ложных обнаружений объектов с локально неизменными параметрами движения).

Литература: 1. *Kouprianov V.* Distinguishing features of CCD astrometry of faint GEO objects // *Advances in Space Research*. 2008. Vol. 41, Issue 7. P. 1029–1038. 2. *Радиоэлектронные системы.* Основы построения и теория: Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Под ред. Я.Д. Ширмана. М.: Радиотехника, 2007. 512 с. 3. *Кузьмин С.З.* Цифровая радиолокация. Введение в теорию. К.: Издательство КвіЦ, 2000. 428 с. 4. *Деденок В.П., Саваневич В.С.* Ієрархічний метод виявлення малорозмірного рухомого об'єкта //

Системи озброєння та військова техніка. 2005. № 1. С. 40–45. **5.** Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецький А. Б. Метод предварительного обнаружения сигналов от небесных объектов на цифровом изображении // Системи озброєння та військова техніка. 2011. Вип. 2(26). С. 169–173. **6.** Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецький А. Б., Власенко В. П. Оценка блеска астероида по амплитуде его сигнала на ПЗС-кадре // Системи управління навігації та зв'язку: Зб. наук. пр. 2010. Вип. 3(15). С. 46–50. **7.** Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецький А. Б., Диков Е. Н., Герасименко О. В. Метод обнаружения астероидов, основанный на накоплении сигналов вдоль траекторий с неизвестными параметрами // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. 2011. Вип. 2(92). С. 137–144. **8.** Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецький А. Б., Диков Е. Н. Обнаружение и оценка параметров траектории астероида // Радиоэлектроника и информатика. 2011. Вып. 1(52). С. 15–21. **9.** Саваневич В. Е., Кожухов А. М., Брюховецький А. Б., Власенко В. П. Метод сложения ПЗС-кадров с накоплением сигнала от астероида со слабым блеском и ненулевым видимым движением на серии ПЗС-кадров // Системи озброєння та військова техніка. 2010. Вип. 3(23). С. 154–159. **10.** Саваневич В. Е., Брюховецький А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка координат астероида на дискретном изображении // Радиотехника. 2010. Вып. 162. С. 78–86. **11.** Саваневич В. Е., Брюховецький А. Б., Кожухов А. М., Диков Е. Н. Оценка экваториальных координат астероида по оценкам его координат на ПЗС-кадре // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. 2010. Вип. 6(87). С. 172–179. **12.** MPC 70135 – 7667. http://www.minorplanetcenter.net/iau/ECS/MPCArchive/MPCArchive_TBL.html. **13.** MPEC 2010-X101: COMET C/2010 X1 (ELENIN). <http://www.minorplanetcenter.org/mpec/K10/K10XA1.html>. **14.** MPEC 2011-O10. COMET P/2011 NO1. <http://www.minorplanetcenter.net/mpec/K11/K11O10.html>.

Поступила в редколлегию 12.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гребенник И.В.

Брюховецкий Александр Борисович, инженер станции Национального Центра управления и испытания космических средств, Евпатория. Научные интересы: методы обнаружения малых тел Солнечной системы и околоземных космических объектов. Адрес: Украина, 97419, АР Крым, Евпатория-19, в/г 189, общ. 5, к. 9, e-mail: izumsasha@rambler.ru.



ДИНАМИКА ЧАСТИЦ С УЧЕТОМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ЗАРЯДА ПРИ ТРАНСПОРТРОВКЕ В УСКОРИТЕЛЯХ

ЧЕРНЫШОВ Н.Н.

Рассматриваются вопросы эмиссии электронов, движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях и движение электронных потоков с учетом пространственного заряда. Описывается электростатическое управление электронными потоками. Работа посвящена волнам в электронных потоках и взаимодействию высокочастотных волн с электронами.

Введение

Вакуумная и газоразрядная электроника – это раздел физической электроники, изучающий закономерности процессов эмиссии заряженных частиц, их движение в вакууме и газовой среде при различных комбинациях воздействующих на частицы внешних электрических и магнитных полей. Такие исследования привлекают особое внимание в связи с широким использованием потоков электронов и ионов в электронике и физике. В этих системах электронный поток является основным рабочим инструментом. Влияние взаимодействия между частицами оказывается фактором, приводящим не только к статическим изменениям, но и к появлению динамических зависимостей, возбуждению электромагнитных волн и изменению структуры потока. *Целью работы* является математическое моделирование физических явлений, протекающих в электронных потоках. *Задачи:* построение математической модели для определения траектории движения заряженных частиц, расчет однородного электрического поля в исследуемой системе, вывод уравнения движения заряженной частицы в неоднородном аксиально-симметричном поле.

1. Траектории движения заряженных частиц

Траектории движения заряженных частиц в статических полях определяются ориентацией вектора скорости частицы относительно направлений векторов напряженности, пространственной структурой поля, зарядом и массой частицы. Основой анализа является уравнение движения (второй закон Ньютона) частицы

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}; \vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - (\vec{v}/c)^2}}, \quad (1)$$

где m_0 – масса частицы; \vec{v} – скорость.

Сила Лоренца $\vec{F} = q\vec{E} + \frac{q}{c}(\vec{v} \times \vec{B})$. Напряженность поля \vec{E} включает в себя внешнее поле \vec{E}_0 и поле, обусловленное взаимным влиянием частиц (кулоновское взаимодействие), или поле пространственного заряда $E_{пз}$ [1].

2. Движение частицы в однородном поле

Рассмотрим задачу о движении частицы с зарядом q и массой m_0 , влетающей в область однородного электрического поля с напряженностью

$$\vec{E}_0 = \vec{i}E_{0x} + \vec{j}E_{0y} + \vec{k}E_{0z}. \quad (2)$$

В этом случае уравнение (1) записывается в виде

$$m_0 \frac{d\vec{v}}{dt} = q(\vec{i}E_{0x} + \vec{j}E_{0y} + \vec{k}E_{0z}). \quad (3)$$

При $\vec{B} = E_{пз} = 0$, $x > 0$ величины E_{0x} , E_{0y} , E_{0z} постоянные. Векторное уравнение (3) приводит к скалярным

$$\begin{cases} m_0 \ddot{x} = qE_{0x}; \\ m_0 \ddot{y} = qE_{0y}; \\ m_0 \ddot{z} = qE_{0z}. \end{cases} \quad (4)$$

Слева стоят вторые производные по времени $\frac{d^2}{dt^2}$, решения которых имеют вид [2]

$$\xi = \frac{qE_{0\xi}}{m_0} \times \frac{t^2}{2} + A_\xi t + B_\xi,$$

а коэффициенты A_ξ и B_ξ определяются в точке

$$\xi|_{t=0} = 0, \frac{dx}{dt} = v_0, \frac{dy}{dt} = 0, \frac{dz}{dt} = 0 \rightarrow \\ \rightarrow B_\xi = A_y = A_z = 0, A_x = v_0.$$

Движение частицы описывается уравнениями

$$\begin{cases} x = v_0 t + \frac{qE_{0x} t^2}{2}; \\ y = \frac{qE_{0y} t^2}{2}; \\ z = \frac{qE_{0z} t^2}{2}. \end{cases} \quad (5)$$

Исключив время t , получаем уравнение траектории

$$x = \frac{E_{0x}}{E_{0y}} y + v_0 \sqrt{\frac{2m_0 y}{qE_{0y}}}, \quad (6)$$

Траектория частицы представляет параболу (рис.1).

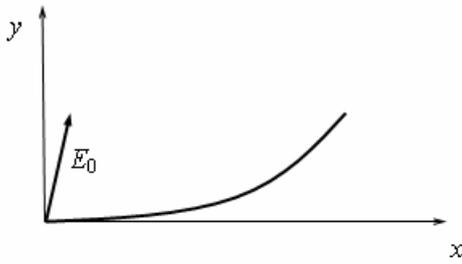


Рис. 1. Траектория частицы в однородном электрическом поле при $q > 0$

Если изменить направление поля \vec{E}_0 так, чтобы E_{0y} было отрицательным (рис.2), то частица с отрицательным зарядом пойдет вверх, а с положительным - вниз. Частица движется с ускорением вдоль оси $0x$, если $q > 0$, и с замедлением, если $q < 0$ [3].

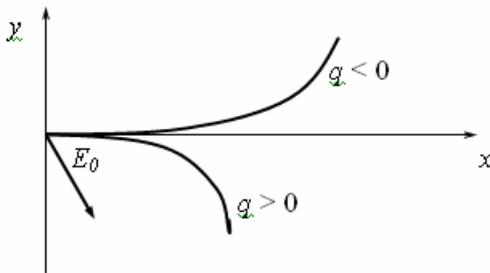


Рис.2. Траектории движения частиц в однородном электрическом поле при изменении знака E_y

Этот случай можно использовать для ускорения частиц. Если $E_{0x} = 0$, то уравнение (6) имеет вид

$$y = \frac{q}{2m} \frac{E_{0y} x^2}{v_0^2}. \quad (7)$$

3. Движение частицы в неоднородном поле

Если частица попадает в неоднородное электростатическое поле, изменяющееся вдоль направления движения, ее траектория изменяется.

3.1. Аксиально-симметричные поля

При определении структуры электростатического поля воспользуемся уравнением Лапласа для потенциала $\Delta U = 0$, где оператор Лапласа [4]

$$\Delta = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (8)$$

Решение этого уравнения будем искать в виде разложения в ряд по степеням r [5]:

$$U(r, z) = U_0(z) + r^2 U_2(z) + r^4 U_4(z) + \dots, \quad (9)$$

четность ряда обусловлена аксиальной симметрией.

Первый член $U_0(z)$ характеризует распределение потенциала вдоль оси симметрии. Решение в виде (9) имеет место, если оно удовлетворяет уравнению (8). Для определения этого решения запишем [6]

$$\Delta U = \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \quad (10)$$

и подставим соответствующие производные:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \ddot{U}_0(z) + r^2 \ddot{U}_2(z) + r^4 \ddot{U}_4(z) + \dots; \\ \frac{\partial U}{r \partial r} = 2U_2(z) + 4r^2 U_4(z) + 6U_6(z) + \dots; \\ \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} = 2U_2(z) + 12r^2 U_4(z) + 30U_6(z) + \dots \end{cases} \quad (11)$$

Сгруппируем члены с одинаковыми степенями:

$$[\ddot{U}_0(z) + 4U_2(z)] + r^2 [\ddot{U}_2(z) + 16U_4(z)] + r^4 [\ddot{U}_4(z) + 36U_6(z)] + \dots = 0.$$

Получаем рекуррентные соотношения [7,8]

$$\begin{cases} U_2(z) = -\frac{1}{4} U_0''(z) = \frac{(-1)^1 U_0''(z)}{2^2 \times 1}; \\ U_4(z) = -\frac{1}{64} U_0''''(z) = \frac{(-1)^2 U_0''''(z)}{2^4 (1 \times 2)^2}; \\ U_{2n}(z) = (-1)^n \frac{U_0^{2n}(z)}{2^{2n} \times (n!)^2}. \end{cases} \quad (12)$$

Подставляя (12) в (9), находим выражение для распределения потенциала [9,10]

$$\begin{aligned} U(r, z) &= U_0(z) - r^2 \frac{U_0''(z)}{4} + r^4 \frac{U_0''''(z)}{64} - \dots, \quad 0! = 1 \rightarrow \\ &\rightarrow U(r, z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n U_0^{2n}(z)}{(n!)^2} \left(\frac{r}{2} \right)^{2n}. \end{aligned} \quad (13)$$

Уравнение (13) позволяет рассчитывать симметричные поля, если известно распределение потенциала на оси. Рассмотрим поле при малых r . Пренебрегая членами порядка малости r^4 и выше, получаем [11]

$$U(r, z) = U_0(z) - \frac{r^2}{4} U_0''(z). \quad (14)$$

Разложим $U_0(z)$ в ряд Тейлора вблизи точки z_0 :

$$U_0(z) = U_0(z_0) + \dot{U}_0(z_0) \Delta z + \frac{1}{2} \ddot{U}_0(z_0) (\Delta z)^2 + \dots$$

Тогда распределение потенциала вблизи оси

$$U(r, z) = U_0(z) + \dot{U}_0(z) \Delta z + \frac{(\Delta z)^2}{2} \ddot{U}_0(z) - \frac{r^2}{4} \ddot{U}_0(z). \quad (15)$$

Вдоль поверхности $U(r, z) = U_0(z)$ получим уравнение эквипотенциальной поверхности, проходящей через искомую точку [12]:

$$\frac{r^2}{4} \ddot{U}_0(z) = \frac{1}{2} \ddot{U}_0(z) (\Delta z)^2 + \dot{U}_0(z) \Delta z, \quad (16)$$

которое представляет собой уравнение гиперболы. Вблизи оси симметрии электрического поля эквипотенциальные поверхности представляют гиперболами-

ды вращения. Если представить кривую параметрической зависимостью $r = r(z)$, то радиус кривизны

$$R = \frac{\left[1 + \left(\frac{dr}{dz}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2r}{dz^2}}, \quad (17)$$

так как вдоль эквипотенциала [13,14]

$$U(r, z) = U_0(z) = \text{const} \rightarrow \\ \rightarrow dU = \frac{\partial U}{\partial z} dz + \frac{\partial U}{\partial r} dr, \frac{dr}{dz} = -\frac{\frac{\partial U}{\partial r}}{\frac{\partial U}{\partial z}}.$$

Второе дифференцирование по z приводит к

$$\frac{d^2r}{dz^2} = \frac{2 \frac{\partial^2 U}{\partial r \partial z} \frac{\partial U}{\partial z} \frac{\partial U}{\partial r} - \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 - \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \left(\frac{\partial U}{\partial r}\right)^2}{\left(\frac{\partial U}{\partial r}\right)^2};$$

$$\begin{cases} z = z_0, \frac{\partial U}{\partial r} = 0, r = 0; \frac{\partial U}{\partial z} = \dot{U}_0(z_0); \\ \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} = -\frac{1}{2} \ddot{U}_0(z_0); \frac{\partial^2 U}{\partial r \partial z} = 0; \\ \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \ddot{U}_0(z_0). \end{cases} \rightarrow R = \frac{2\dot{U}_0(z_0)}{\ddot{U}_0(z_0)}. \quad (18)$$

Если в точке z_0 выполняется $\dot{U}_0(z_0) = 0$, то потенциал [15]

$$U(r, z) = U_0(z_0) + \frac{1}{2}(\Delta z)^2 \ddot{U}_0(z) - \frac{r^2}{4} \ddot{U}_0(z).$$

Коэффициенты при r^2 и Δz^2 имеют противоположные знаки. Если $\ddot{U}_0(z) > 0$, то с ростом $|\Delta z|$ $U_0(r, z)$ - растёт, а с ростом $|r|$ - убывает.

3.2. Уравнение движения заряженной частицы в аксиально-симметричном поле

Уравнение движения заряженных частиц в аксиально-симметричном электростатическом поле [16]

$$\begin{cases} m_0 \ddot{z} = -q \dot{U}_0(z); \\ m_0 \ddot{r} = q \frac{r}{2} \ddot{U}_0(z). \end{cases} \quad (19)$$

Электростатическое поле связано с потенциалом

$$E_r = -\frac{\partial U}{\partial r}; E_z = -\frac{\partial U}{\partial z}.$$

В приосевой области продольная скорость частицы определяется из закона сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = -qU:$$

$$v \approx v_0 = \frac{dz}{dt} = \sqrt{-\frac{q}{m_0} U_0(z)}. \quad (20)$$

Используя (20), получаем уравнение траектории. Преобразуем дифференциальный оператор

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} = \frac{d}{dz} \frac{dz}{dt} = \sqrt{-2 \frac{q}{m_0} U_0(z)} \frac{d}{dz}; \\ \frac{d}{dt} = \frac{dz}{dt} \frac{d}{dz} \left(\frac{dz}{dt} \frac{d}{dz}\right) = -2 \frac{q}{m_0} \sqrt{U_0(z)} \frac{d}{dz} \left(\sqrt{U_0(z)} \frac{d}{dz}\right). \end{cases}$$

Получим

$$\frac{d}{dz} \left(\sqrt{U_0(z)} \frac{dr}{dz}\right) = -\frac{1}{4} \frac{\ddot{U}_0(z)}{\sqrt{U_0(z)}}. \quad (21)$$

Выводы

Научная новизна исследования заключается в разработке математической и компьютерной модели для изучения динамики заряженных частиц.

Практическое значение:

Анализ уравнения (21) позволяет охарактеризовать траектории движения частиц.

Изменение знака $U_0(z)$ не изменяет уравнения (21), и частицы при $-U_0(z)$ будут лететь по тем же траекториям в обратном направлении.

Уравнение (21) однородно относительно $R = A \times r$, где A – постоянная величина, вид уравнения не изменяется, а форма траектории остается неизменной.

Уравнение (21) однородно относительно потенциалов. Если изменить потенциал $U_0(z)$ на величину $\Phi_0(z) = B \times U_0(z)$, где B – постоянная величина, то траектории частиц останутся исходными. Это позволяет моделировать траектории при небольших величинах потенциалов.

Перспективы исследования: разработанные модели рекомендуется использовать в ускорительной технике, но для этого необходимо сделать расчеты магнитной и ВЧ-системы.

Литература: 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля - 4-е изд., испр. и доп. М.: Физматлит, 1962. 423с. 2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики: Уч.пособие для вузов. М.: Наука, Физматлит, 1983. 643с. 3. Фукс Б.А., Шабат Б.Ф. Функции комплексного переменного и некоторые их приложения. М.: Наука, 1964. 388с. 4. Шимони

- К. Физическая электроника. М.: Энергия, 1977. 608с. **5.** Лоусон Дж. Физика пучков заряженных частиц: Пер. с англ. Под ред. А.А. Коломенского. М.: Мир, 1980. 439с. **6.** Бронштейн И.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. М.: Наука, 1969. 287с. **7.** Зинченко Н.С. Курс лекций по электронной оптике: Уч. пособие для вузов. Харьков: ХГУ, 1958. 275с. **8.** Жигарев А.А. Электронная оптика и электронно-лучевые приборы: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш.шк., 1972. 540с. **9.** Алямовский И.В. Электронные пучки и пушки. М.: Сов. радио, 1966. 454с. **10.** Клейнер Э.Ю. Основы теории электронных ламп: Уч. пособие для вузов. М.: Высш.шк., 1974. 368с. **11.** Грибов Л.А., Прокофьева Н.И. Основы физики: Учебник для вузов. М.: Наука, Физматлит, 1988. 560с. **12.** Суханов А.Д. Фундаментальный курс физики: Уч. пособие для вузов. В 4-х т. Т.1 Корпускулярная физика. М.: Издательство "Агар", 1996. **13.** Годжаев Н.М. Оптика: Учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк, 1977. 432с. **14.** Трофимова Т.И. Курс физики: Уч. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1998. 542с. **15.** Морс Ф.М., Фешбах Г. Методы теоретической физики. Т.1. М.: Ин. лит., 1958. 931с. **16.** Ильин В.А., Позняк Э.Г. Аналитическая геометрия: Уч. для вузов. М.: Наука, Физматлит, 1988. 224с.

Поступила в редколлегию 11.04.2012

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. Панченко А.Ю.;

д-р физ.-мат. наук, проф. Лучанинов А.И.

Чернышов Николай Николаевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник кафедры микроэлектроники электронных приборов и устройств ХНУРЭ. Научные интересы: математическая физика; методы математического анализа; численное моделирование; задачи теории поля, солнечной и ядерной энергетики. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр.Ленина, 14. тел.: (057) 7021362, (093) 0436635.



МЕТОД ДВУХКОМПОНЕНТНОГО КОДИРОВАНИЯ АПЕРТУРНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СРЕДСТВАХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

БАРАННИК В.В., ДОДУХ А.Н.

Излагаются этапы метода сжатия изображений на основе построения двухкомпонентного кодового представления на базе координатно-структурного и построчно-масштабного представления фрагмента изображения. Показывается, что это обеспечивает обработку целостной информации о фрагменте изображения, а обобщенное формирование кодовой комбинации осуществляется на основе двухкомпонентного интегрированного принципа. Доказываются преимущества предложенного подхода.

1. Введение

Развитие инфокоммуникационных систем осуществляется в русле повышения качества предоставляемых сервисов. При этом выделяется тенденция относительно мультимедизации услуг, что ведет к повышению нагрузки на вычислительные средства, хранилища данных и телекоммуникационные системы [1; 2]. Решения такой проблемы неразрывно связано с повышением эффективности функционирования методов компрессии изображений. Требуется обеспечить возможность контролировать битовую скорость источника видеoinформации в зависимости от производительных возможностей ИКС и заданного качества визуального восприятия реконструируемых изображений. Ключевой составляющей здесь является повышение степени сжатия без потери информации, что составляет *актуальность научно-прикладной тематики исследований*.

Одно из направлений развития систем сжатия изображений заключается в предварительном выявлении апертурных характеристик [2 – 5].

В данном случае для фрагмента изображения формируются две составляющие, а именно:

- неравномерная координатно-структурная составляющая, которая формирует локально-структурную архитектуру фрагмента изображений. Компонентами такой составляющей являются длины апертур, выявляемых вдоль строк изображения;

- построчно-масштабирующая составляющая, которая определяет яркостную и цветовую насыщенность архитектурной формы фрагмента изображения. Ком-

понентами такой формы являются аппроксимирующие яркостные (цветовые) величины апертур.

Возможны две базовые стратегии относительно компактного представления полученных составляющих [4; 5]. Первая стратегия состоит в раздельной обработке каждой компоненты независимо друг от друга. Вторая стратегия заключается в построении кодового представления на основе совместной обработки двух компонент. Для такого варианта формируется двухкомпонентное кодовое представление на базе совместного использования элементов координатно-структурного и построчно-масштабного представления фрагмента изображения. Это обеспечит обработку целостной информации о фрагменте изображения. Формирование кодовой комбинации предлагается осуществлять на основе двухкомпонентного интегрированного принципа. В этом случае в отличие от бит-ориентированного принципа добавочная группа разрядов формируется на основе взвешенного добавления компоненты апертурно-яркостного описания фрагмента изображения. Это позволяет:

1. Дополнительно повысить степень сжатия за счет сокращения количества незначимых старших разрядов в кодовых комбинациях. Это достигается в результате добавления элементов массивов длин апертур, имеющих меньшие значения динамических диапазонов, в процессе формирования двухкомпонентного кода (ДК).
2. Повысить оперативность обработки фрагментов изображений.
3. Снизить вычислительную сложность, требующуюся для реализации процессов обработки.

Отсюда цель исследований заключается в разработке метода сжатия изображений на основе двухкомпонентного кодирования его апертурных составляющих.

2. Разработка двухкомпонентного метода сжатия

Рассмотрим основные этапы построения обобщенного двухкомпонентного кода.

Первый этап заключается в формировании координатно-структурной и построчно-масштабных составляющих фрагмента изображения. Для этого осуществляется выявление апертур и построение массивов

$\Delta H_{m,n}^{(v)}$ аппроксимирующих величин и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ длин апертур. Выявление апертур проводится по строкам кадра в направлении строчной развертки. Используется условие $x_{\xi, \gamma+r} \in [b(\min)_{\xi}; b(\max)_{\xi}]$, $r = \overline{0, \ell_{\xi} - 1}$,

где ℓ_{ξ} – длина текущей апертуры; $b(\min)_{\xi}$, $b(\max)_{\xi}$ – значения соответственно нижней и верхней границ (ξ)-й апертуры, которые зависят от высоты b апертуры. Наоборот, когда $x_{\xi, \ell_{\xi}} \notin [b(\min)_{\xi}; b(\max)_{\xi}]$, то начинает строиться следующая апертура. Выявление

аппретур заканчивается тогда, когда обработан последний элемент $x_{Z_{lin}, Z_{col}}$ кадра изображения. Образование массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ проводится в направлении строк, что позволяет выявить дополнительные структурные закономерности и обеспечить потенциальные возможности для устранения избыточности.

Целостность реконструкции фрагмента изображения на основе структурной и масштабирующих составляющих достигается равенством размеров массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ и однозначным порядком их образования. Это позволит исключить необходимость использования дополнительных служебных данных и временной задержки для позиционирования апертур и фрагментов изображений. Формирование массивов величинами $\ell'_{\phi, \xi}$ и $h_{\phi, \xi}$ (ϕ – номер строки кадра, $\phi = \overline{1, Z_{lin}}$) на (i, j) -м шаге реализуется на основе следующего правила:

1) если $j \leq n$ и выполняется неравенство $(i-1)n + j \leq v_{\phi}$, где $((i-1)n + j)$ – количество апертур ϕ -й строки, на базе компонент которых сформировано текущее количество элементов массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$; v_{ϕ} – количество апертур в строке кадра изображения, то $\ell_{i,j} = \ell'_{\phi, (in+j)}$ и $h_{i,j} = h_{\phi, (in+j)}$;

2) если $j \leq n$, но $(i-1)n + j > v_{\phi}$, то не отобранные апертуры в ϕ -й строке отсутствуют, и отбор компонент апертур проводится для $(\phi+1)$ -й строки кадра, т.е. $\ell_{i,j} = \ell'_{\phi+1, j}$ и $h_{i,j} = h_{\phi+1, j}$;

3) если $j > n$, $(i+1) \leq m$, то для $(i-1)n + j \leq v_{\phi}$ получим $\ell_{i+1, j} = \ell'_{\phi, (in+1+j)}$ и $h_{i+1, j} = h_{\phi, (in+1+j)}$, и наоборот, для $(i-1)n + j > v_{\phi}$ – $\ell_{i+1, j} = \ell'_{\phi+1, j}$ и $h_{i+1, j} = h_{\phi+1, j}$;

4) если $(i+1) > m$, то построение массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$ завершено.

Второй этап. Определение оснований элементов массивов $\Delta H_{m,n}^{(v)}$ и $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, рассматриваемых соответственно как адаптивное позиционное число с неравными соседними элементами и двумерное позиционное число в дифференциальном пространстве. Выполняются следующие действия:

1) для формирования системы оснований $W(h)$, $W(h) = \{w'(h)_i\}$, $i = \overline{1, m}$ элементов АПЧ с неравными соседними элементами

$$w'(h)_i = h_{i, \max} - h_{i, \min} + 1 - \text{sign}(j-1),$$

$$h_{i, \max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{h_{i, j}\} + 1; \quad h_{i, \min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{h_{i, j}\};$$

2) для системы оснований $W(\ell) = \{w(\ell)_i\}$, $i = \overline{1, m}$ элементов ПЧДП:

$$w(\ell)_{ij} = \ell_{i, \max} - \ell_{i, \min} + 1 = w(\ell)_i,$$

$$\ell_{i, \max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{\ell_{i, j}\} + 1; \quad \ell_{i, \min} = \min_{1 \leq j \leq n} \{\ell_{i, j}\}.$$

Третий этап. Организуется оценка количества элементов $v(h, i)_{\xi}$ и $v(\ell)_{\xi}$ двухкомпонентных составляющих для построения обобщенного кода (ОК). Длина $D_{\text{нес}}$ кодового слова для построения текущего обобщенного кода считается заданной. По условию формирования ДК выбор первой составляющей на основе построения кода проводится для элементов одной строки массива $\Delta H_{m,n}^{(v)}$. Отсюда $v(h, i)_{\xi} = \lfloor D_{\text{нес}} / \log_2(w(h)_i - 1) \rfloor$. Вторая составляющая формируется на основе кодового описания элементов массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, расположенных в общем случае на разных строках.

Для компактного представления массивов длин апертур $L_{m,n}^{(v)}$ предлагается организовать кодирование в дифференциальном позиционном пространстве с различными основаниями [5]. Для этого в начале формируются величины оснований $w(\ell)_{ij}$, причем $0 \leq \ell'_{ij} \leq w(\ell)_{ij} < \ell_{\max}$. Здесь $w(\ell)_{ij}$ – разность между минимальным $\ell_{i, \min}$ и максимальным ℓ_{\max} значениями в i -й строке массива длин апертур.

С учетом полученных оснований $w(\ell)_{ij}$ дифференциальное кодирование массива длин апертур в направлении строк определяется формулой

$$E(\ell)_{i,n}^{(i,1)} = \sum_{j=1}^n (\ell_{i,j} - \ell_{i, \min}) V(\ell)_{m,n}^{(i,j)}.$$

Здесь $V(\ell)_{m,n}^{(i,j)}$ – весовой коэффициент (i, j) -го элемента ПЧДП.

Поскольку $w(\ell)_{ij} = \ell_{i, \max} - \ell_{i, \min} + 1 = w(\ell)_i$, то полученное выражение примет вид:

$$E(\ell)_{i,n}^{(i,1)} = \sum_{j=1}^n (\ell_{i,j} - \ell_{i, \min}) w(\ell)_i^{n-j}.$$

Отсюда введем обозначение $E(\ell)_{i,n}^{(i,1)}$ для $\sum_{j=1}^n (\ell_{i,j} - \ell_{i, \min}) w(\ell)_i^{n-j}$ как код для i -го одномерного позиционного числа (строки) в дифференциальном пространстве с различными основаниями.

Значит, создано компактное представление неравномерной координатно-структурной составляющей фрагмента изображения на основе позиционного кодиро-

вания в дифференциальном пространстве с различными основаниями. Учитывается ограниченность и неравномерность динамических диапазонов элементов массивов длин апертур. Обеспечивается взаимоднозначность такого представления, что в значительной степени влияет на контролируемый характер аппроксимирующих искажений качества реконструируемых изображений.

Величина $v(\ell)_\xi$ определяется в несколько этапов, а именно:

1) находится количество элементов для текущей строки. Вычисляется количество $v(\ell, \alpha)_\xi$ элементов в α -й строке массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$, участвующих в построении второй составляющей. При этом учитывается, что в пределах одной строки основания элементов ДПЧДП являются постоянными, тогда

$$v(\ell, \alpha)_\xi = [\Delta D / ([\log_2 w(\ell)_\alpha] + 1)];$$

2) поскольку количество элементов строки ограничено величиной n , то $v(\ell, \alpha)_\xi \leq n - \gamma + 1$, где γ – позиция свободного элемента в α -й строке массива $\Delta L_{m,n}^{(v)}$. Отсюда, если $v(\ell, \alpha)_\xi > n - \gamma + 1$, то количества свободных элементов в строке не хватает для формирования второй составляющей. Поэтому определяем количество ΔD_α оставшихся избыточных разрядов после заполнения элементами α -й строки $\Delta D_\alpha = \Delta D - v(\ell, \alpha)_\xi ([\log_2 w(\ell)_\alpha] + 1)$;

3) повторяем первый этап с учетом значения основания $w(\ell)_{\alpha+1}$ для очередной $(\alpha+1)$ -й строки, т.е. $v(\ell, \alpha+1)_\xi = [\Delta D_{\alpha+1} / ([\log_2 w(\ell)_{\alpha+1}] + 1)]$. После выполнением второй этап.

Процесс формирования второй составляющей для текущего ДК заканчивается в двух случаях, а именно если на $(\beta+1)$ -м шаге:

– выполняется неравенство

$$\Delta D_{\alpha+\beta} < [\log_2 w(\ell)_{\alpha+\beta+1}] + 1,$$

т.е. оставшееся количество избыточных разрядов будет меньше, чем максимальное количество разрядов на представление элементов очередной строки массива длин апертур;

– если нет свободных элементов в массиве длин апертур, т.е. $\beta+1 > m$.

В результате суммарное количество элементов второй составляющей будет равно

$$v(\ell)_\xi = \sum_{i=\alpha}^{\alpha+\beta} v(\ell, i)_\xi,$$

где $v(\ell, i)_\xi = \min \{n_i; [\Delta D_{i-1} / ([\log_2 w(\ell)_i] + 1)]\}$; n_i – количество свободных элементов в i -й строке массива длин апертур.

В итоге получаем количество $v(h, i)_\xi$ элементов массива аппроксимирующих величин апертур и количество $v(\ell)_\xi$ элементов массивов длин апертур, участвующих в образовании двухкомпонентного кода. При этом выполняется обобщенное неравенство

$$[\log_2 \left((w(h)_i - 1)^{v(h, i)_\xi} \prod_{\phi=\alpha}^{\alpha+\beta} w(\ell)_\phi^{v(\ell, \phi)_\xi} \right)] + 1 \leq D_{\text{пес}}.$$

Четвертый этап. Осуществляется построение ДК.

Первая кодовая составляющая $E(h)_{i, \gamma+v(h, i)_\xi-1}^{(i, \gamma)}$, формируемая на основе $v(h, i)_\xi$ элементов строки массива аппроксимирующих величин, равна

$$E(h)_{i, \gamma+v(h, i)_\xi-1}^{(i, \gamma)} = \sum_{j=\gamma}^{\gamma+v(h, i)_\xi-1} (h_{i, j} - \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i, j-1} - h_{i, j}))) (w(h)_i - 1)^{v(h, i)_\xi + \gamma - 1 - j}.$$

Рекуррентное выражение для формирования

$E(h)_{i, \gamma+v(h, i)_\xi}^{(i, \gamma)}$ примет вид

$$E(h)_{i, \gamma}^{(i, \gamma)} = h_{i, \gamma};$$

$$E(h)_{i, \gamma+j}^{(i, \gamma)} = E(h)_{i, \gamma+j-1}^{(i, \gamma)} (w(h)_i - 1) + h_{i, \gamma+j},$$

$$j = \overline{1, v(h, i)_\xi - 1},$$

где $(i; \gamma)$, $(i; \gamma + v(h, i)_\xi - 1)$ – координаты соответственно начального и конечного элементов первой составляющей ДК на основе i -й строки массива аппроксимирующих величин апертур; $E(h)_{i, \gamma+j}^{(i, \gamma)}$, $E(h)_{i, \gamma+j-1}^{(i, \gamma)}$ – значение кода первой составляющей соответственно на $(\gamma+j)$ -м и на $(\gamma+j-1)$ -м шагах обработки.

Структура кода для формирования ДК на основе первой компоненты задается таким выражением:

$$E(h; \ell)_\xi = E(h)_{i, \gamma+v(h, i)_\xi-1}^{(i, \gamma)} \prod_{\phi=\alpha}^{\alpha+\beta} w(\ell)_\phi^{v(\ell, \phi)_\xi} + \Delta E(\ell)_{\alpha+\beta, \tau}^{(\alpha, \gamma)},$$

где $V(\ell)_{\alpha+\beta, \tau}^{(\alpha, \gamma)} = \prod_{\phi=\alpha}^{\alpha+\beta} w(\ell)_\phi^{v(\ell, \phi)_\xi}$ – весовой коэффициент первой компоненты $E(h)_{i, \gamma+v(h, i)_\xi-1}^{(i, \gamma)}$ двухкомпонентного кода.

Здесь величина $V(\ell)_{\alpha+\beta, \tau}^{(\alpha, \gamma)}$ определяется как накопленное произведение оснований элементов массива длин апертур, начиная с основания элемента на позиции $(\alpha; \gamma)$ и заканчивая основанием элементом на позиции $(\alpha + \beta; \tau)$.

При этом обеспечивается выполнение следующих неравенств:

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} < V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} ;$$

$$\left[\log_2 \left((w(h)_i - 1)^{v(h,i)_\xi} \prod_{\phi=\alpha}^{\alpha+\beta} w(\ell)_\phi^{v(\ell,\phi)_\xi} \right) \right] + 1 \leq D_{\text{нес}} .$$

Если обработан последний элемент массива, то текущее значение кода является начальным значением двухкомпонентного кода, и происходит переход на обработку элементов массива длин апертур.

Пятый этап. Вычисление второй кодовой составляющей $\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)}$ с учетом рассмотрения массива длин апертур как позиционное число в дифференциальном пространстве осуществляется следующим образом:

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} = \sum_{j=\gamma}^n (\ell_{\alpha,j} - \ell_{\alpha,\min}) w(\ell)_\alpha^{n-j} \prod_{\chi=\alpha+1}^{\alpha+\beta-1} w(\ell)_\chi^n \times$$

$$\times w(\ell)_{\alpha+\beta}^\tau + \sum_{i=\alpha+1}^{\alpha+\beta-1} \sum_{j=1}^n (\ell_{i,j} - \ell_{i,\min}) w(\ell)_i^{n-j} \times$$

$$\prod_{\chi=i+1}^{\alpha+\beta-1} w(\ell)_\chi^n w(\ell)_{\alpha+\beta}^\tau + \sum_{j=1}^\tau (\ell_{\alpha+\beta,j} - \ell_{\alpha+\beta,\min}) w(\ell)_{\alpha+\beta}^{\tau-j}$$

Значение дополнительного кода $\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)}$ в случае его рекуррентного вычисления разделяется на три составляющих, а именно:

– $\Delta E(\ell)_{\alpha,n}^{(\alpha,\gamma)}$ – долевой код для допустимых элементов α -й строки массива длин апертур

$$\Delta E(\ell)_{\alpha,n}^{(\alpha,\gamma)} = \sum_{j=\gamma}^n (\ell_{\alpha,j} - \ell_{\alpha,\min}) w(\ell)_\alpha^{n-j} ;$$

– $\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha+1,1)}$ – долевой код для элементов полных строк, начиная с $(\alpha+1)$ -й строки и заканчивая $(\alpha+\beta-1)$ -й строкой:

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha+1,1)} = \sum_{i=\alpha+1}^{\alpha+\beta-1} \sum_{j=1}^n (\ell_{i,j} - \ell_{i,\min}) w(\ell)_i^{n-j} \times$$

$$\times \prod_{\chi=i+1}^{\alpha+\beta-1} w(\ell)_\chi^{v(\ell,\chi)_\xi} ;$$

– $\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha+\beta,1)}$ – долевой код на основе допустимых элементов $(\alpha+\beta)$ -й строкой:

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha+\beta,1)} = \sum_{j=1}^\tau (\ell_{\alpha+\beta,j} - \ell_{\alpha+\beta,\min}) w(\ell)_{\alpha+\beta}^{\tau-j} .$$

Тогда, используя известные значения количества элементов в строках $\{v(\ell,\alpha)_\xi, \dots, v(\ell,\alpha+\beta)_\xi\}$ массива длин апертур, значение дополнительного кода второй

составляющей вычислим на основе следующей рекуррентной схемы:

1) вычисляется значение кода $\Delta E(\ell)_{\alpha,n}^{(\alpha,\gamma)}$;

2) формируется значение накопленного кода $\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha,\gamma)}$, для чего используется формула

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha,\gamma)} = \Delta E(\ell)_{\alpha,n}^{(\alpha,\gamma)} \prod_{\chi=\alpha+1}^{\alpha+\beta-1} w(\ell)_\chi^{v(\ell,\chi)_\xi} +$$

$$+ \Delta E(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha+1,1)} ;$$

3) определяется искомое значение кода второй составляющей

$$\Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} = \Delta E(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha,\gamma)} w(\ell)_{\alpha+\beta}^{v(\ell,\alpha+\beta)_\xi} + \Delta E(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha+\beta,1)} .$$

Для упрощения выражений введем обозначения:

$$V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} = \prod_{\phi=\alpha}^{\alpha+\beta} w(\ell)_\phi^{v(\ell,\phi)_\xi} ;$$

$$V(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha+1,1)} = \prod_{\chi=\alpha+1}^{\alpha+\beta-1} w(\ell)_\chi^{v(\ell,\chi)_\xi} ;$$

$$V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha+\beta,1)} = w(\ell)_{\alpha+\beta}^{v(\ell,\alpha+\beta)_\xi} .$$

Отсюда в случае известного количества $v(h,i)_\xi$ элементов массива аппроксимирующих величин и количества $v(\ell)_\xi$ элементов массива длин апертур значение ДК $E(h;\ell)_\xi$ определяется как

$$E(h;\ell)_\xi = \sum_{j=\gamma}^{\gamma+v(h,i)_\xi-1} h_{i,j} (w(h)_i - 1)^{v(h,i)_\xi + \gamma - 1 - j} \times$$

$$\times V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} - \sum_{j=\gamma}^{\gamma+v(h,i)_\xi-1} \text{sign}(1 - \text{sign}(h_{i,j-1} - h_{i,j})) \times$$

$$\times (w(h)_i - 1)^{v(h,i)_\xi + \gamma - 1 - j} V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha,\gamma)} +$$

$$+ \sum_{j=\gamma}^n (\ell_{\alpha,j} - \ell_{\alpha,\min}) w(\ell)_\alpha^{n-j} V(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(\alpha+1,1)} V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha+\beta,1)} +$$

$$+ \sum_{i=\alpha+1}^{\alpha+\beta-1} \sum_{j=1}^n (\ell_{i,j} - \ell_{i,\min}) w(\ell)_i^{n-j} V(\ell)_{\alpha+\beta-1,n}^{(i+1,1)} V(\ell)_{\alpha+\beta,\tau}^{(\alpha+\beta,1)} +$$

$$+ \sum_{j=1}^\tau (\ell_{\alpha+\beta,j} - \ell_{\alpha+\beta,\min}) w(\ell)_{\alpha+\beta}^{\tau-j} .$$

Здесь $(i;\gamma)$, $(\alpha;\gamma)$ – начальные координаты для формирования ДК соответственно в массиве аппроксимирующих величин апертур и в массиве длин апертур. Таким образом, на основе разработанных кодирующих соотношений осуществляется формирование двухкомпонентного кода на базе неравнозначного вклада элементов массива аппроксимирующих величин апертур и элементов массива длин апертур.

3. Выводы

1. Разработан метод сжатия изображений на основе построения обобщенного двухкомпонентного кодового представления на базе совместного использования элементов координатно-структурного и построчно-масштабного представления фрагмента изображения. Это обеспечивает обработку целостной информации о фрагменте изображения. Обобщенное формирование кодовой комбинации осуществляется на основе двухкомпонентного интегрированного принципа. В этом случае в отличие от бит-ориентированного принципа добавочная группа разрядов формируется на основе взвешенного добавления компонент фрагмента изображения. Это позволяет:

- 1) дополнительно повысить степень сжатия за счет сокращения количества незначимых старших разрядов в кодовых комбинациях;
- 2) достичь наибольшей степени сжатия в результате устранения избыточных разрядов;
- 3) повысить оперативность обработки фрагментов изображений;
- 4) снизить вычислительную сложность, требующуюся для реализации процессов обработки;
- 5) снизить влияние ошибок в канале связи на качество реконструируемых изображений, а именно в случае:

– появления ошибки в кодовой конструкции она будет распространяться только в пределах локальной части фрагмента изображения;

– распределения длин апертур по нескольким двухтиповым кодам ошибка в кодовом представлении длин апертур будет распространяться на меньшее количество элементов координатно-структурного описания фрагмента изображения.

2. Массивы построчно-масштабирующей составляющей фрагмента изображения представляются в виде адаптивных позиционных чисел с неравными соседними элементами. В этом случае строки массивов аппроксимирующих величин являются одномерными

позиционными числами с неравными соседними элементами.

3. Создано компактное представление неравномерной координатно-структурной составляющей фрагмента изображения на основе двумерного полиадического кодирования в дифференциальном пространстве. Учитывается ограниченность и неравномерность динамических диапазонов элементов массивов длин апертур. Обеспечивается взаимоднозначность такого представления, что в значительной степени влияет на контролируемый характер аппроксимирующих искажений качества реконструируемых изображений.

Литература: 1. *Кашкин В.Б.* Цифровая обработка аэрокосмических изображений: Конспект лекций. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. 121 с. 2. *Баранник В.В.* Методологический анализ системы аэрокосмического видеомониторинга чрезвычайных ситуаций / В.В. Баранник, А.В. Яковенко, А.Ю. Школьник // Сучасна спеціальна техніка, К.: №4(27). 2011. С. 12 – 22. 3. *Сэлмон Д.* Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон. М.: Техносфера, 2004. 368 с. 4. *Баранник В.В.* Структурно-комбинаторное представление данных в АСУ / В.В. Баранник, Ю.В. Стасев, Н.А. Королева. Х.: ХУПС, 2009. 252 с. 5. *Баранник В.В.* Информационная модель построчно-масштабирующих составляющих фрагмента изображения / В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, Н.А. Королева // Системи обробки інформації. Х.: ХУПС. 2011. Вип. 4. С. 55 – 59.

Поступила в редколлегия 05.01.2012

Рецензент: д-р тех. наук, проф. Хаханов В.И.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков-23, ул. Сумская, 77/79, тел. 8 050-3038971.

Додух Александр Николаевич, инженер Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования и передачи информации.

УДК629.391

КОДИРОВАНИЕ ЗНАЧИМЫХ КОМПОНЕНТ ТРАНСФОРМАНТ

БАРАННИК В.В., КРИВОНОС В.Н., ХАХАНОВА А.В.

Осуществляется выбор дальнейшего развития технологий компрессии трансформированных изображений в области компонентного представления. Обосновывается модель описания значимых компонент трансформанты на основе позиционных чисел с неравными соседними элементами. Излагаются этапы позиционного кодирования для сокращения объема на представление значимых компонент трансформанты. Для этого формируется система кодирующих выражений для сжатия без потери достоверности и целостности видеoinформационных ресурсов.

1. Введение

Постановка проблемы и анализ литературы. Особенности развития современного общества таковы, что зависят от возросшего потребления видеoinформационных ресурсов. Это диктует необходимость обеспечивать соответствующие требования по достоверности, доступности и целостности видеoinформации. Одной из ключевых позиций на пути реализации таких требований является кодирование источников видеoinформации [1 – 3]. Это обуславливает *актуальность тематики научно-прикладных исследований*, проводимых в области компрессии цифровых изображений. Анализ систем сжатия показывает, что наибольшая эффективность обработки обеспечивается для предварительно трансформированных изображений [3 – 5]. Однако устранение избыточности в

трансформантах проводится в основном путем учета психовизуальных и статистических закономерностей. В результате этого получается ограниченный уровень компрессии и резкое падение достоверности получаемой при декодировании видеoinформации. Отсюда *цель исследований* – разработка метода кодирования трансформант сегментированных изображений, обеспечивающего повышение доступности и целостности видеoinформации для заданного уровня достоверности.

2. Описание значимых компонент трансформант позиционными числами

В настоящее время для кодирования трансформант в JPEG ориентированных технологиях используются два базовых подхода, различающихся структурным подходом относительно рассмотрения трансформанты [4]. Первый подход базируется на обработке компонентной структуры трансформанты. Второй – осуществляет кодирование для битовой структуры трансформанты.

Из двух стратегий кодирования наименьшее время обработки затрачивается для компонентной структуры трансформанты. Это объясняется следующими причинами:

- битовая структура трансформанты строится на основе бинаризации ее компонент. В этом случае для каждой компоненты формируется двоичное представление длиной d бит. В итоге вместо обработки $n \times m$ компонент необходимо обработать d битовых плоскостей размером $n \times m$ каждая ($n \times m$ – размер трансформанты). Количество обрабатываемых данных для битового представления трансформанты увеличивается в d раз;

- требуется затратить дополнительное количество операций собственно на саму бинаризацию каждой компоненты трансформанты;

- обработка для компонентной структуры может реализовываться с использованием кодовых таблиц Хаффмана. Это требует меньшего количества операций по сравнению с арифметическим кодированием.

Отсюда компонентная обработка обладает возможностями обеспечить выполнение условия $q_c + q_r \leq \text{argument}(t(q_c + q_r))$, где $t(q_c + q_r) \leq q_p / t$.

Отличительной особенностью процесса устранения избыточности в компонентной структуре трансформанты является учет:

- концентрации основной энергии исходного сигнала в низкочастотных компонентах, и наоборот, информация о мелких деталях формируется в высокочастотных компонентах трансформанты дискретного косинусного преобразования, значения которых зачастую близки к нулевому;

- наличия компонент трансформанты с нулевыми значениями.

Это позволяет организовывать обработку на основе устранения статистической и структурной избыточности. Для такого варианта трансформанта из двумерной растягивается по диагональному зигзагу в одномерную структуру. После этого формируется совокупность пар $\{y_\alpha, l_\alpha\}$, где y_α, l_α – соответственно значение α -й значимой компоненты развернутой трансформанты и количество компонент, имеющих одинаковое значение. В результате n^2 компонент трансформанты заменяются m парами $\{y_\alpha, l_\alpha\}$, т.е. $\alpha = \overline{1, m}$. При выявлении значимых компонент трансформант создается возможность для устранения структурной избыточности.

Для трансформант в рамках их описания на основе структурного подхода последовательности Y_m значимых компонент присущи следующие закономерности:

1. Две соседние компоненты y_ξ и $y_{\xi+1}$ (где $\xi = \overline{1, m}$) имеют различные значения, т.е.

$$y_\xi \neq y_{\xi+1}, \quad \xi = \overline{1, m}. \quad (1)$$

2. Если исключить из вектора Y_m низкочастотную компоненту, т.е. y_1 , то для полученного вектора Y_{m-1} , значения значимых компонент будут находиться в ограниченном динамическом диапазоне, т.е.

$$y_{\min} \leq y_2, \dots, y_j, \dots, y_m \leq y_{\max}. \quad (2)$$

Здесь разница между верхним уровнем y_{\max} и нижним уровнем y_{\min} диапазона величин y_j на интервале $2 \leq j \leq m$ будет меньше, чем динамический диапазон для вектора Y_m .

Для учета закономерностей, задаваемых соотношениями (1) и (2), предлагается подход, заключающийся в рассмотрении значений значимых компонент y_j , имеющих следующий динамический диапазон:

- для второй компоненты вектора Y_{m-1} он будет равен $w(y)_2 = y_{\max} - y_{\min} + 1$, так как $y_2 \in [0; y_{\max} - y_{\min}]$;

- для всех остальных компонент вектора Y_{m-1} согласно условию (1) он определяется как $w(y)_j = y_{\max} - y_{\min}$, т.е. уменьшается на единицу, где $j = \overline{3, m}$. Это обусловлено тем, что возможные значения компонент y_j для $j = \overline{3, m}$ будут исключать одно из них, которое соответствует предыдущей компоненте, и $y_2 \in [0; y_{\max} - y_{\min} - 1]$.

Значит, на основе предложенных преобразований для трансформанты формируется вектор Y_m значимых компонент, значения которых удовлетворяют следующим условиям:

$$y_2 \leq w(y)_2 = y_{\max} - y_{\min} + 1; \quad y_j \leq w(y)_j = y_{\max} - y_{\min}, \quad j = \overline{3, m}. \quad (3)$$

В этом случае для вектора Y_{m-1} можно сформулировать следующую интерпретацию.

Вектор Y_{m-1} , для компонент которого выполняются условия (3), так, что в общем случае $w(y)_j \neq w(y)_v, j \neq v$ и $j, v = \overline{2, m}$, называется позиционным числом с неравными соседними элементами (ПЧНСЭ) и системой оснований $W(y) = \{w(y)_j\}$.

Для такого подхода относительно представления последовательности значимых компонент оценка информативности сводится к определению количества допустимых ПЧНСЭ. В общем случае для позиционной системы со смешанными основаниями количество допустимых чисел равно $\prod_{j=2}^m w(y)_j$. Следовательно, с учетом соотношений для величин оснований $w(y)_j$ получим следующее выражение для определения количества $V_m^{(y)}$ допустимых ПЧНСЭ:

$$V_m^{(y)} = \prod_{j=2}^m w(y)_j = (y_{\max} - y_{\min} + 1)(w(y)_j)^{m-2}.$$

Данное выражение учитывает: неизменность оснований для элементов вектора Y_{m-1} ; неравенство соседних компонент вектора Y_{m-1} .

3. Позиционное кодирование значимых компонент трансформант в условиях неравенства соседних элементов

По определению *позиционное число с неравными соседними элементами* образуется на основе вектора значимых компонент трансформанты.

Формирование кодового описания предлагается осуществлять на базе построения кодовых конструкций для позиционных чисел. Вывод выражения для кодирования ПЧНСЭ осуществляется в два этапа:

1) первый этап заключается в определении кода вектора с учетом ограниченности динамического диапазона трансформанты (исключая низкочастотную компоненту);

2) на втором этапе выводятся выражения для получения кода позиционного числа с учетом ограничения на равенство соседних компонент вектора Y_{m-1} .

Рассмотрим первый этап процесса кодирования позиционного числа с НСЭ. Кодирование позиционных чисел как вектора Y_{m-1} значимых компонент трансформанты задается следующим выражением:

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m y_j V(y)_j,$$

где $V(y)_j$ – весовой коэффициент j -го элемента позиционного числа; y_j – j -я компонента вектора Y_{m-1} .

Поскольку динамический диапазон для элементов вектора Y_{m-1} равен $w(y)$, то

$$V(y)_j = w(y)^{m-j-1}.$$

В результате этого значение позиционного кода $E(y)_u$ будет равно

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m y_j w(y)^{m-j-1}. \quad (4)$$

Выражение (4) позволяет вычислить значение кода для вектора значимых компонент трансформанты без учета условия неравенства между ними. Данное условие, а именно то, что $y_j \neq y_{j+1}, j = \overline{2, n}$, учитывается на втором этапе построения кодового правила. Соотношение для вычисления кода вектора значимых компонент, рассматриваемого как позиционное число с неравными соседними элементами, будет иметь следующий вид:

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m \Delta V(y)_j.$$

Здесь $\Delta V(y)_j$ определяется как количество допустимых последовательностей, предшествующих вектору $\Delta Y(m-j)$. Величина $\Delta V(y)_j$ вычисляется по следующей формуле:

$$\Delta V(y)_j = \begin{cases} y_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)} - \Delta V(y'_j = y_{j-1}), & \rightarrow y_{j-1} < y_j; \\ y_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)}, & \rightarrow y_{j-1} > y_j, \end{cases} \quad (5)$$

где $y_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)}$ – суммарное количество последовательностей (длиной равной λ_j), для всех элементов которых, кроме j -го, выполняются ограничения на динамический диапазон и на неравенство соседних элементов; $\Delta V(y'_j = y_{j-1})$ определяет количество запрещенных последовательностей, составленных из λ_j элементов, предшествующих кодируемой последовательности $\Delta Y(m-j)$.

Введем вспомогательную величину μ_j , равную

$$\mu_j = \begin{cases} y_j, & \rightarrow y_j < y_{j-1}; \\ y_{j-1}, & \rightarrow y_j > y_{j-1}. \end{cases} \quad (6)$$

В результате этого соотношение для кода $E(y)_u$ вектора значимых компонент трансформанты примет вид

$$E(y)_u = \sum_{j=2}^m \mu_j (w(y) - 1)^{(m-j-1)}. \quad (7)$$

При кодировании значимых компонент для второй компоненты должно выполняться два условия:

– на значения компонент, предшествующих элементу y_2 , не накладываются ограничения относительно нулевого элемента, т.е. не должно выполняться неравенство $y_{j-1} < y_j$;

– обеспечиваться выполнение неравенства $y'_0 = w(y) > y_2$.

Поэтому для компоненты y_2 в качестве предшествующей y'_0 выбирается значение $w(y)$, равное динамическому диапазону вектора Y_{m-1} , т.е.

$$y'_0 = w(y). \quad (8)$$

Таким образом, соотношения (6) – (8) позволяют определить кодовое значение для вектора значимых компонент трансформанты (исключая низкочастотную компоненту), представляющего собой позиционное число с неравными соседними элементами.

В этом случае в результате исключения последовательностей, содержащих равные соседние компоненты, достигается устранение структурной избыточности без внесения искажений. При этом устранение избыточности обеспечивается даже в тех случаях, когда динамический диапазон высокочастотных компонент трансформанты стремится к динамическому диапазону низкочастотной компоненты, т.е. $y_j \rightarrow y_1$.

Рассмотрим свойства позиционного представления значимых компонент трансформанты.

Верхней границей кода $E(y)_u$ для вектора значимых компонент трансформанты является величина $\Delta V(Y)_u$, равная накопленному произведению $(w(y) - 1)^{(m-1)}$ оснований элементов позиционного числа с неравными соседними элементами, т.е.

$$E(y)_u < \Delta V(Y)_u = (w(y) - 1)^{(m-1)},$$

где $(w(y) - 1)^{(m-1)}$ – количество позиционных чисел с неравными соседними элементами, имеющими следующие параметры: динамический диапазон равен $w(y)$, длина числа равна $(m - 1)$.

Соответственно количество разрядов $\log_2 E(y)_u$, отводимое на представление $E(y)_u$, будет ограничено сверху величиной $D(y)_u$:

$$\log_2 E(y)_u \leq D(y)_u = (m - 1) \log_2 (w(y) - 1). \quad (9)$$

Соотношение (9) обеспечивает определение верхней границы затрат количества двоичных разрядов на представление кода для вектора значимых компонент трансформанты, имеющего параметры $w(y)$ и $(m - 1)$.

4. Заключение

1. Обоснован подход для построения технологии компрессии изображений с использованием предварительного трансформирования, базирующийся на:

1) формировании двух составляющих трансформанты, а именно: вектора значимых компонент и вектора масштабирующих составляющих. Это позволяет:

– адаптироваться к структуре трансформанты, учитывая различную концентрацию высокочастотных компонент в сегменте изображения и различный уровень фактора квантизации;

РИ, 2012, № 2

– выявлять дополнительные структурные закономерности в трансформантах сегментированного изображения.

2) описании вектора значимых компонент трансформанты в виде элементов позиционных чисел с неравными соседними элементами. Это позволяет адаптироваться к свойствам линейризованных трансформант за счет учета: неравенства значений соседних компонент; ограниченности динамического диапазона компонент трансформанты.

2. Сжатие фрагментов изображений достигается в результате:

1) исключения статистической избыточности, обусловленной учетом интегрированных корреляционных зависимостей;

2) снижения психовизуальной избыточности за счет проведения нелинейной квантизации трансформанты;

3) сокращения структурной избыточности, обусловленной:

– выявлением масштабирующих составляющих трансформанты;

– выявлением закономерностей для вектора значимых компонент, а именно: исключения избыточного количества позиционных чисел, которые содержат равные соседние элементы; учета ограниченности и неравномерности динамических диапазонов элементов массивов длин апертур.

Литература: 1. *Олифер В.Г.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. СПб.: Питер, 2006. 958 с. 2. *Gonzales R.C.* Digital image processing / R.C. Gonzales, R.E. Woods. Prentice Inc. Upper Saddle River, New Jersey. 2002. 779 p. 3. *Баранник В.В.* Кодирование трансформированных изображений в инфокоммуникационных системах / В.В. Баранник, В.П. Поляков. Х.: ХУПС, 2010. 212 с. 4. *Баранник В.В.* Метод сжатия изображений на основе неравновесного позиционного кодирования битовых плоскостей / В.В. Баранник, Н.К. Гулак, Н.А. Королева // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. Х.: ХНАУ "ХАІ", 2009. Вип. 1. С. 55– 61. 5. *Баранник В.В.* Информационная модель построчно-масштабирующих составляющих фрагмента изображения / В.В. Баранник, А.Ю. Школьник, Н.А. Королева // *Системи обробки інформації*. Х.: ХУПС. 2011. Вип. 4. С. 55 – 59.

Поступила в редколлегию 06.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Баранник Владимир Викторович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник научного центра Харьковского университета Воздушных Сил им. Ивана Кожедуба. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации, семантической обработки изображений. Адрес: Украина, 61023, Харьков, ул. Сумская, 77/79, тел. 050-3038971.

Кривонос Владимир Николаевич инженер Харьковского университета Воздушных Сил. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, защиты и передачи информации.

Хаханова Анна Владимировна, канд. техн. наук, ст. препод. кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: системы, технологии преобразования, кодирования, передачи информации. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

МОДЕЛЬ ДЛЯ НАДІЙНІСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ДЖЕРЕЛ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ЦІЛОДОВОЇ ДОВГОТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ВОЛОЧІЙ Б.Ю., КУЗНЄЦОВ Д.С.

Пропонується надійсна модель для автоматизації вирішення задач проектування відмовостійкої системи для джерела безперебійного електроживлення. Конфігурація відмовостійкої системи визначає склад джерела безперебійного електроживлення: блок живлення сформований з однотипних модулів, ненавантажений ковзний резерв для них, двократне загальне резервування блоку живлення двома акумуляторами, засоби контролю та діагностики. Наводиться приклад розв'язання задач проектування відмовостійкої системи.

Постановка задачі

Проблеми проектування джерел безперебійного електроживлення (ДБЕЖ) радіоелектронної апаратури відповідального призначення проєктантами приділяється велика увага, про що свідчать наукові публікації та каталоги продукції різних фірм [1 - 15].

В ряді інформаційних джерел визначені вимоги до надійності ДБЕЖ [6, 11] та способи її забезпечення шляхом використання відмовостійких систем з відповідною конфігурацією [1, 2, 7, 8, 12, 15]. У відмовостійких системах, що застосовуються в практиці, використовується комбіноване структурне резервування [3, 5, 7].

В каталогах по ДБЕЖ наводиться інформація про функціональні параметри, а також відзначається їх висока надійність. Однак конкретні значення показників надійності не наводяться [13, 14]. Це, на нашу думку, пов'язано з відсутністю відповідних надійнісних моделей ДБЕЖ, а експериментально визначені показники надійності можуть бути отримані після тривалої експлуатації.

Отже, проблема розробки надійнісних моделей ДБЕЖ з комбінованим структурним резервуванням є актуальною. Для вирішення цієї проблеми може бути використаний логіко-ймовірнісний метод моделювання. Так, у статтях [9, 10] представлена технологія надійнісного моделювання складних систем на основі загального логіко-ймовірнісного методу, в яких розглядаються задачі аналізу їх надійності, безпеки і ризику. Ця технологія може бути використана для розробки надійнісних моделей ДБЕЖ.

З використанням технології моделювання поведінки складних систем, в основі якої лежить метод простору станів, розроблено ряд надійнісних моделей ДБЕЖ, які представлені в роботах [3, 5]. Так, в монографії [3, с.139-153] представлено надійнісну модель ДБЕЖ з ковзним резервуванням модулів робочої конфігурації блоку живлення і загальним заміщувальним резервуванням за допомогою акумулятора. В [5] представлена надійнісна модель ДБЕЖ з комбінованим структурним резервуванням з двома акумуляторами і дизельною генераторною установкою.

В даній статті пропонується надійнісна модель ДБЕЖ цілодобової довготривалої експлуатації (наприклад, електроживлення апаратури телекомунікаційних мереж) з комбінованим структурним резервуванням, до складу якого входить два акумулятори; враховано також ненадійність контролю, діагностики та комутуючих елементів.

Опис структури досліджуваного джерела безперебійного електроживлення

Розглянемо ДБЕЖ, яке побудоване як відмовостійка система, де властивість відмовостійкості забезпечується комбінованим структурним резервуванням. Структура ДБЕЖ описана в працях [3, с. 134-139, 5]. Для ДБЕЖ передбачено технічне обслуговування, стратегія якого може бути різною. В даному випадку передбачено аварійний виклик ремонтника при відмові одного модуля блоку живлення. Структура джерела безперебійного електроживлення є типовою, яка включає в себе: блок живлення, що складається з однотипних модулів робочої конфігурації і таких же модулів ковзного ненавантаженого резерву; 2 акумулятори, які здійснюють двократне загальне резервування блоку живлення; засоби контролю та діагностики здійснюють контроль працездатності блоку живлення і локалізацію несправного модуля в ньому, а також контроль працездатності акумуляторів.

Фактори ненадійності складових ДБЕЖ

Ненадійність електроживлення інформаційних систем обумовлена двома факторами [4]: ненадійністю електромережі та ненадійністю самого ДБЕЖ. Задача оцінки впливу ненадійної мережі на показники надійності ДБЕЖ розглянута в статті [5].

У даній роботі вважається, що електромережа є надійною, а джерело безперебійного електроживлення повинно забезпечити напругу живлення при відмовах в блоці живлення. Модулі блоку живлення відмовляють з певною (відомою) інтенсивністю і після цього система переходить на автономну роботу від акумулятора. Відновлення працездатності блоку живлення можливе завдяки наявності ковзного резерву та ремонтного органу. Ефективність акумулятора визначають його параметри: тривалість розрядження на навантаження, тривалість заряджання, тривалість саморозрядження, тривалість роботи до відмови і передбачена кількість заряджання. Якщо акумулятор працював на навантаження і розрядився або відмовив, а блок

живлення ще не відновлено, то передбачено переключення засобами комутації на другий акумулятор, якщо він працездатний і заряджений. Якщо другий акумулятор перебуває на заряджанні або є несправним, то ДБЕЖ втрачає працездатність. Наявність в структурі ДБЕЖ двох акумуляторів дозволяє при надійній електромережі знизити вимоги до ремонтного органу. При відмові засобів комутації ДБЕЖ втрачає працездатність в момент, коли до них надходить команда від засобів контролю. Ефективність контролю та діагностики визначають вибрані методи та надійність засобів (апаратних і програмних), якими реалізовано їх функції. При невиявленні засобами контролю порушення працездатності блоку живлення або акумулятора (в момент переключення на нього навантаження) ДБЕЖ втрачає працездатність. При неуспішній локалізації несправного модуля із робочої конфігурації блоку живлення вилучається справний модуль.

Задачі надійнісного проектування

Надійнісне проектування джерел безперебійного електроживлення для об'єктів телекомунікаційних мереж передбачає вирішення таких задач:

- визначення параметрів відмовостійкої системи при заданій (вибраній) її конфігурації і заданому значенні показника надійності, а саме тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ;
- обґрунтування вибору конфігурації відмовостійкої системи для ДБЕЖ;
- визначення параметрів технічного обслуговування при заданій (вибраній) її конфігурації і заданому значенні показника надійності, а саме тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ.

Підхід до розв'язання задач надійнісного проектування

Підвищення надійності роботи ДБЕЖ може забезпечуватися різними шляхами: збільшенням кількості резервних модулів, підвищенням надійності модулів робочої конфігурації блоку живлення, встановленням акумуляторів з більшою тривалістю роботи до повного розряду та більшою кількістю циклів заряд-розряд, високими вимогами до ремонтного органу. Але зміна кожного з цих параметрів буде впливати на надійність ДБЕЖ в цілому по різному. Крім того, певний набір одних параметрів буде визначати, наскільки надійність ДБЕЖ буде чутливою до зміни інших. Тому актуальною є задача визначення чутливості показника надійності ДБЕЖ до змін параметрів відмовостійкої системи та технічного обслуговування при різних наборах значень інших параметрів джерела. Значення інших параметрів може задаватися, в тому числі, для певної ситуації, яка визначається доцільністю (технічною, економічною і т.д.) і вже для цих ситуацій проводити надійнісний аналіз з метою визначення чутливості показника надійності ДБЕЖ до зміни обраного параметру.

Представлення ступеня адекватності розробленої моделі

Для визначення показників надійності здійснюється розробка математичної моделі ДБЕЖ у вигляді графа станів і переходів. Розробка і аналіз графа для складних систем є затратною щодо часу задачею. А при потребі аналізувати різні конфігурації відмовостійких систем постає задача розробки графа для кожного з варіантів конфігурації, що різко збільшує затрати часу на розробку моделей. Тому актуальною є задача автоматизації процесу побудови надійнісних моделей відмовостійких систем та використання їх до розв'язання проектних задач.

Таку задачу вирішує удосконалена технологія аналітичного моделювання відмовостійких систем [3], в якій побудова графу станів і переходів є формалізована. Ця технологія реалізована в програмному модулі ASNA-1. Для роботи з цим програмним модулем необхідно здійснити розробку структурно-автоматної моделі відмовостійкої системи, вибраної для ДБЕЖ.

У розробленій структурно-автоматній моделі відмовостійкої системи враховано відмови працюючих модулів блоку живлення, ненадійність засобів комутації (підключення модулів холодного ковзного резерву у робочу конфігурацію, переключення навантаження на акумулятор), тривалість роботи акумулятора на навантаження, тривалість саморозряду та відмови обох акумуляторів, ефективність контролю та діагностики, ефективність ремонтного органу (своєчасне відновлення працездатності несправних модулів блоку живлення). Розроблена структурно-автоматна модель представлена у табл. 1, де вектор стану складають такі його компоненти: V1 – відображає поточну кількість працездатних модулів у робочій конфігурації блоку живлення; V2 – відображає поточну кількість працездатних модулів ковзного резерву блоку живлення; V3 – індикатор, що вказує на можливість наступного ремонту (ремонт можливий – 1; усі заплановані ремонти виконані, тобто наступний ремонт неможливий – 0); V4 – вказує, в якому стані перебуває перший акумулятор (акумулятор працює на навантаження – 1; акумулятор заряджений, але не підключений до навантаження – 2; акумулятор перебуває на заряджанні – 3; акумулятор непрацездатний (незаряджений або несправний – 4); V5 – вказує, в якому стані перебуває другий акумулятор (опис станів аналогічний V4).

Множину параметрів ДБЕЖ складають:

параметри блоку живлення: $M = M_{PK} + M_{KR}$ – загальна початкова кількість модулів блоку живлення; M_{PK} – початкова кількість модулів в робочій конфігурації блоку живлення; M_{KR} – початкова кількість модулів ковзного резерву; I_m – інтенсивність відмов одного модуля в блоці живлення;

параметри акумулятора (передбачено використання 2-х однотипних акумуляторів): $S_{ц}$ – кількість циклів заряд-розряд акумулятора; $T_{ЗА}$ – середнє значення

інтервалу часу, необхідного для заряджання акумулятора; $\lambda_{РПА}$ – інтенсивність розряджання працюючого акумулятора; $\lambda_{РНА}$ – інтенсивність розряджання непрацюючого акумулятора; λ_a – інтенсивність відмов акумулятора; $P_{ц}$ – ймовірність того, що порядковий номер поточного циклу заряд-розряд не перевищує передбачену кількість циклів для акумулятора;

параметри засобів контролю та діагностики: $P_{д}$ – ймовірність успішного виявлення втрати працездатності блоку живлення і локалізації несправного модуля в ньому; $T_{ПРМ}$ – тривалість діагностики блоку живлення;

параметр пристроїв перемикачів: $P_{ПМ}$ – ймовірність успішної комутації (переключення);

параметри ремонтного органу: S_p – кількість запланованих ремонтів для несправних модулів блоку живлення; $T_{рм}$ – середнє значення тривалості ремонту (заміни) несправного модуля блоку живлення.

При побудові структурно-автоматної моделі визначено базові події надійнісної поведінки відмовостійкої системи. Для кожної базової події визначено ситуації, в яких вона відбувається, формули розрахунку інтенсивностей базових подій (ФРІБП) та ймовірностей альтернативних переходів (ФРІАП), правила модифікації компонент вектора стану (ПКМВС), а також критерій катастрофічної відмови (ККВ).

Приклад розв'язання проектної задачі за допомогою розробленої моделі

Для розв'язання задачі визначення параметрів відмовостійкої системи, яка має забезпечити тривалість

Таблиця 1
Структурно-автоматна модель ДБЕЖ

Базові події	Умови і обставини	ФРІБП	ФРІАП	ПКМВС			
1. Відмова модуля блоку живлення	1. (V1=Mrk) AND (V4=2)	$V1 \times \lambda_{М}$	$P_{10} = P_{ПМ}$ $P_{11} = 1 - P_{ПМ}$	$V1 := V1 - 1; V4 := 1$ $V1 := V1 - 1;$			
	2. (V1=Mrk) AND (V5=2) AND ((V4=3) OR (V4=4))	$V1 \times \lambda_{М}$	$P_{10} = P_{ПМ}$ $P_{11} = 1 - P_{ПМ}$	$V1 := V1 - 1; V5 := 1$ $V1 := V1 - 1$			
	3. (V1=Mrk) AND ((V4>2) OR (V5>2))	$V1 \times \lambda_{М}$	1	$V1 := V1 - 1$			
2. Підключення модуля ковзного резерву в робочу конфігурацію	1. (V2>0) AND (V1<Mrk) AND (V4=1)	$1/T_{ПРМ}$	$P_{20} = P_{д} \times P_{ПМ}$ $P_{21} = 1 - P_{д} \times P_{ПМ}$	$V1 := V1 + 1; V2 := V2 - 1; V4 := 2$ $V2 := V2 - 1$			
	2. (V2>0) AND (V1<Mrk) AND (V5=1)	$1/T_{ПРМ}$	$P_{20} = P_{д} \times P_{ПМ}$ $P_{21} = 1 - P_{д} \times P_{ПМ}$	$V1 := V1 + 1; V2 := V2 - 1; V5 := 2$ $V2 := V2 - 1$			
3. Завершення розряджання 1-го акумулятора	1. (V4=1) AND (V5=2)	$\lambda_{РПА}$	$P_{310} = P_{ц} \times P_{ПМ}$	$V4 := 3; V5 := 1$			
			$P_{311} = P_{ц} \times (1 - P_{ПМ})$	$V4 := 3$			
			$P_{312} = (1 - P_{ц}) \times P_{ПМ}$	$V4 := 4; V5 := 1$			
	2. (V4=1) AND ((V5=3) OR (V5=4))	$\lambda_{РПА}$	$P_{320} = P_{ц}$	$V4 := 3$			
			$P_{321} = 1 - P_{320}$	$V4 := 4$			
			$P_{330} = P_{ц}$	$V4 := 3$			
3. (V4=2)	$\lambda_{РНА}$	$P_{331} = 1 - P_{330}$	$V4 := 4$				
		$P_{410} = P_{ц} \times P_{ПМ}$	$V5 := 3; V4 := 1$				
		$P_{411} = P_{ц} \times (1 - P_{ПМ})$	$V5 := 3$				
4. Завершення розряджання 2-го акумулятора	1. (V5=1) AND (V4=2)	$\lambda_{РПА}$	$P_{412} = (1 - P_{ц}) \times P_{ПМ}$	$V5 := 4; V4 := 1$			
			$P_{413} = (1 - P_{ц}) \times (1 - P_{ПМ})$	$V5 := 4$			
			$P_{420} = P_{ц}$	$V5 := 3$			
	2. (V5=1) AND ((V4=3) OR (V4=4))	$\lambda_{РПА}$	$P_{421} = 1 - P_{420}$	$V5 := 4$			
			$P_{430} = P_{ц}$	$V5 := 3$			
			$P_{431} = 1 - P_{430}$	$V5 := 4$			
5. Відмова 1-го акумулятора	1. (V4=1) AND (V5=2)	λ_a	$P_{50} = P_{ПМ}$	$V4 := 4; V5 := 1$			
			$P_{51} = 1 - P_{ПМ}$	$V4 := 4$			
			1	$V4 := 4$			
6. Відмова 2-го акумулятора	1. (V5=1) AND (V4=2)	λ_a	$P_{60} = P_{ПМ}$	$V5 := 4; V4 := 1$			
			$P_{61} = 1 - P_{ПМ}$	$V5 := 4$			
			1	$V5 := 4$			
7. Завершення заряджання 1-го акумулятора	(V4=3)	$1/T_{3A}$	1	$V4 := 2$			
			8. Завершення заряджання 2-го акумулятора	(V5=3)	$1/T_{3A}$	1	$V5 := 2$
						9. Відновлення несправного модуля блоку живлення	$((Mrk + Mkr) - (V1 + V2) > 0) \text{ AND } V3 = 1$
$P_{91} = 1 / S_p$	$V2 := V2 + 1; V3 := 0$						
ККВ: (V1<Mrk) AND ((V4=2) OR (V4=3) OR (V4=4)) AND ((V5=2) OR (V5=3) OR (V5=4))							

безвідмовної роботи ДБЕЖ $T=15000$ годин, необхідно всю множину параметрів розділити на дві частини. В першу частину віднесені параметри, які слід задавати, виходячи з міркувань технічної доцільності. В другій частині залишаються параметри, які визначаються за допомогою моделі. В даному прикладі заданими параметрами є: кількість модулів у робочій конфігурації блоку живлення (M_{PK}); інтенсивність відмов модуля в блоці живлення (λ_m); кількість циклів заряд-розряд акумулятора ($S_{ц}$); тривалість заряджання акумулятора ($T_{ЗА}$); інтенсивність саморозрядження акумулятора (λ_{PNA}); інтенсивність відмов акумулятора (λ_a); тривалість діагностики блоку живлення ($T_{ПРМ}$); кількість запланованих ремонтів для несправних модулів блоку живлення (S_p); ймовірність успішного виявлення втрати працездатності блоку живлення і локалізації несправного модуля в ньому (P_d).

Шуканими (невідомими) параметрами є: кількість модулів ковзного резерву ($M_{КР}$); середнє значення тривалості роботи акумулятора на навантаження ($T_{РПА}$); середнє значення тривалості ремонту (заміни) несправного модуля блоку живлення (T_{PM}); ймовірність успішної комутації ($P_{ПМ}$).

Наступним кроком є визначення чутливості показника надійності ДБЕЖ (тривалість безвідмовної роботи) до зміни значень шуканих параметрів.

1. Дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи від кількості модулів у ковзному резерві представлено в табл. 2 і на рис. 1.

З результатів, представлених на рис. 1, можна зробити висновок, що при поданих у табл. 2 параметрах ДБЕЖ найкращий виграш у надійності дає встановлення одного модуля ковзного резерву в порівнянні з ДБЕЖ без ковзного резервування (виграш у надійності майже у 10 разів). Встановлення двох модулів ковзного резерву незначно підвищує надійність ДБЕЖ, а встановлення трьох і більше модулів ковзного резерву, при заданих параметрах ДБЕЖ, практично не впливає на показники його надійності. Тому варто встановити лише 1 модуль ковзного холодного резерву ($M_{КР} = 1$).

З результатів, представлених на рис. 2, можна зробити висновок, що при поданих у табл. 3 параметрах ДБЕЖ зміна значення інтенсивності розряду працюючого на навантаження акумулятора у межах 0.01...12 (що відповідає діапазону тривалостей від 5 хв до 100 год.)

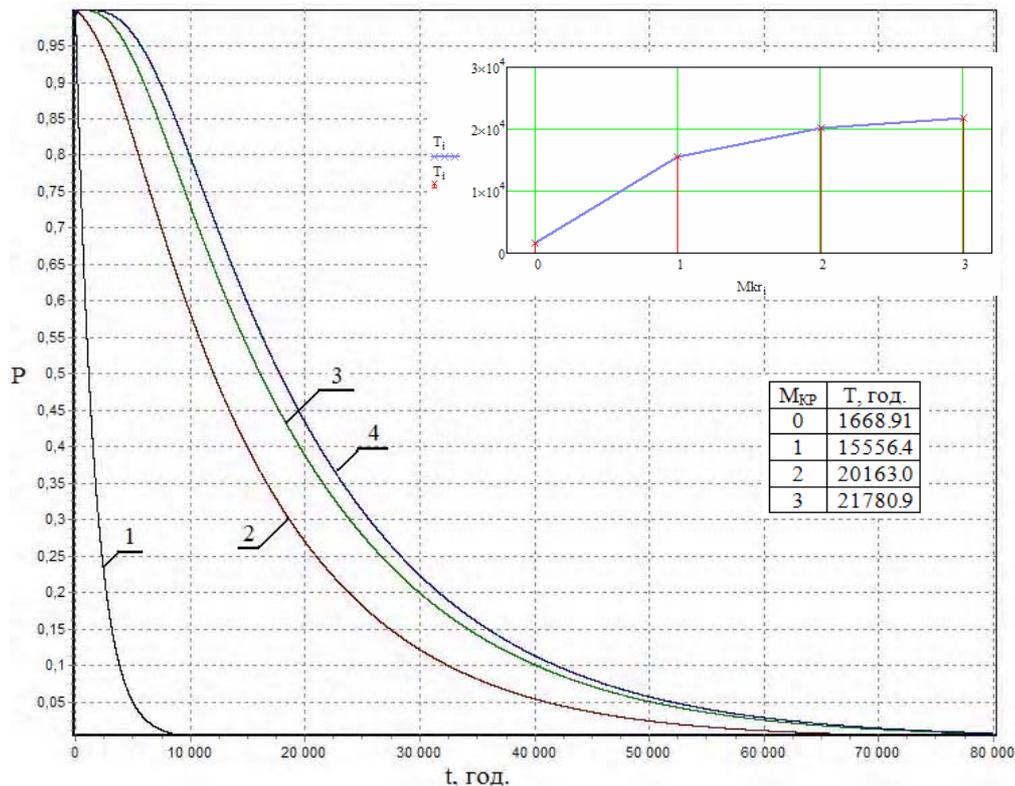


Рис. 1. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення кількості модулів у ковзному резерві

Таблиця 2

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від кількості модулів у ковзному резерві

№	M_{PK}	$M_{КР}$	λ_m	$S_{ц}$	$T_{ЗА}$	λ_{PNA}	λ_{PNA}	λ_a	T_{PM}	S_p	$P_{ПМ}$	P_d	T
1	3	0	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	1668.91
2	3	1	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15556.4
3	3	2	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	20163.0
4	3	3	2e-4	300	3	1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	21780.9

суттєво на показники надійності ДБЕЖ не впливає. Тому при заданих (вибраних) параметрах відмовостійкої системи ДБЕЖ немає потреби встановлювати акумулятори, які забезпечують високе значення тривалості роботи на навантаження.

2. Дослідження залежності показника надійності ДБЕЖ від значення інтенсивності розряду працюючого акумулятора представлено в табл. 3 і на рис. 2.

3. Дослідження залежності показників надійності ДБЕЖ від значення ймовірності успішного перемикання представлено в табл. 4 і на рис. 3.

4. Дослідження залежності показників надійності ДБЕЖ від значення середньої тривалості відновлення працездатності несправного модуля блоку живлення представлено в табл. 5 і на рис. 4.

З результатів, представлених на рис. 3, можна зробити висновок, що надійність ДБЕЖ сильно залежить від надійності засобів перемикання. Графік показує, що різниця між кривими 1 і 2 достатньо велика (по значеннях тривалості безвідмовної роботи надійність відрізняється приблизно у 2 рази).

При таких параметрах ДБЕЖ варто використовувати перемикачі з ймовірністю успішного перемикання 0.999 і вище ($P_{ПМ} = 0.999$).

З результатів, представлених на рис. 4, можна зробити висновок, що при поданих у табл. 5 параметрах ДБЕЖ зміна значення середньої тривалості ремонту несправного модуля не суттєво впливає на показники надійності ДБЕЖ у діапазоні зміни цього параметру від 1 до 48 годин. Але при поступовому зменшенні цього значення до середнього значення тривалості розряду

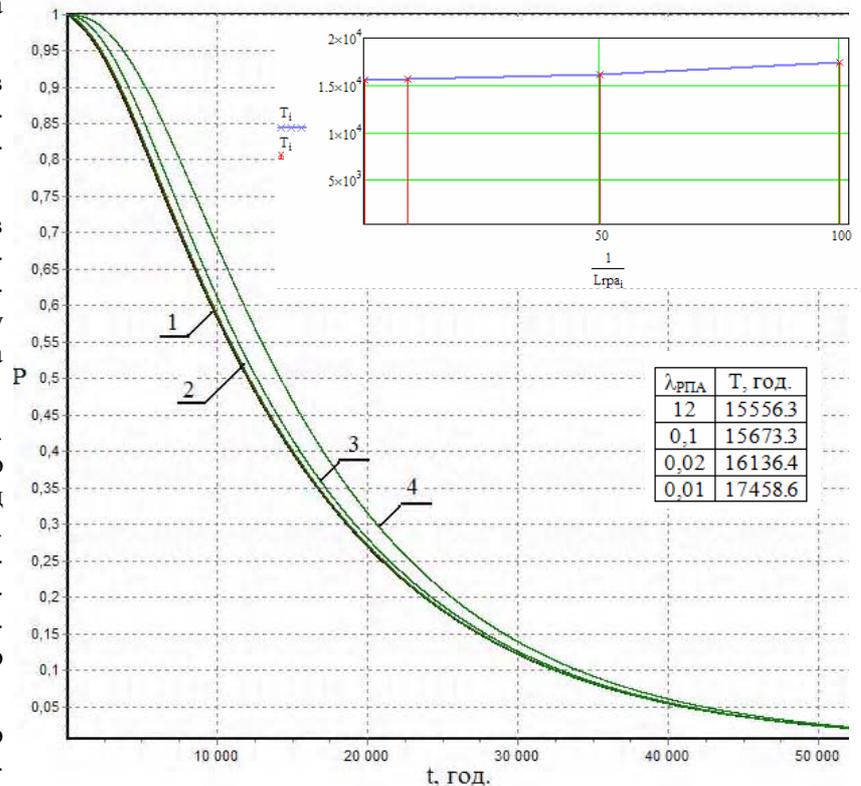


Рис. 2. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення інтенсивності розряду акумулятора

Таблиця 3

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від значення інтенсивності розряду акумулятора

№	M_{PK}	M_{KP}	λ_m	$S_{ц}$	T_{3A}	$\lambda_{рПА}$	$\lambda_{рНА}$	λ_a	T_{PM}	S_p	$P_{ПМ}$	P_d	T
1	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15556.3
2	3	1	2e-4	300	3	0,1	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15673.3
3	3	1	2e-4	300	3	0,02	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	16136.4
4	3	1	2e-4	300	3	0,01	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	17458.6

Таблиця 4

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ від значення ймовірності успішного перемикання

№	M_{PK}	M_{KP}	λ_m	$S_{ц}$	T_{3A}	$\lambda_{рПА}$	$\lambda_{рНА}$	λ_a	T_{PM}	S_p	$P_{ПМ}$	P_d	T
1	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.9	0.99999	6608.3
2	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.99	0.99999	13732
3	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.999	0.99999	15371
4	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.9999	0.99999	15556

Таблиця 5

Результати дослідження залежності тривалості безвідмовної роботи від значення середньої тривалості відновлення працездатності несправного модуля блоку живлення

№	M_{PK}	M_{KP}	λ_m	$S_{ц}$	T_{3A}	$\lambda_{рПА}$	$\lambda_{рНА}$	λ_a	T_{PM}	S_p	$P_{ПМ}$	P_d	T
1	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	1	10	0.999	0.99999	18660
2	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	6	10	0.999	0.99999	18259
3	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	12	10	0.999	0.99999	17805
4	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	24	10	0.999	0.99999	16971
5	3	1	2e-4	300	3	12	1e-3	1e-5	48	10	0.999	0.99999	15556

акумулятора на навантаження чутливість показників надійності ДБЕЖ до зміни значення середньої тривалості відновлення працездатності модуля блоку живлення зростає ($T_{PM} = 48$ год.).

З проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що для того, щоб забезпечити тривалість безвідмовної роботи $T = 15000$ годин, варто вибрати 1 модуль ковзного резерву, так як саме перший модуль в резерві дає найбільший приріст надійності. Замість встановлення акумуляторів з великою тривалістю роботи на навантаження можна взяти акумулятор з цим показником на рівні 5-10 хв. Як надійний можна взяти перемикач з ймовірністю успішного перемикачання 0.999. Вимоги до ремонтного органу можна послабити через низьку чутливість надійності ДБЕЖ до середнього значення тривалості відновлення, при заданих параметрах відмовостійкої конфігурації ДБЕЖ, і встановити на рівні 48 годин (2 доби).

Висновки

Розроблена надійнісна модель джерела безперебійного електроживлення дозволяє вирішувати наведений вище перелік задач, які є актуальними при його проектуванні. Модель служить проектуванню інструментом, за допомогою якого можна дати відповідь на питання про те, зміна якого з параметрів джерела дасть найбільший приріст надійності, і знайти значення параметрів представленої конфігурації відмовостійкої системи джерела безперебійного електроживлення для заданого показника його надійності.

Література: 1. *Виноградов П.Ю., Маракулин В.В., Никитин К.К., Патильх Н.Н., Шамсиев Б.Г.* Источники бесперебойного питания телекоммуникационных средств и вычислительной техники. Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Режим досту-

пу: <http://dvo.sut.ru/libr/sile/w026isbp/index.htm>. 2. *Барсков А.* Отказоустойчивые источники бесперебойного питания: модульные или моноблочные. 2009. Режим доступа: <http://www.iksnavigator.ru/vision/2910564.html>. 3. *Волочий Б.Ю.* Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем. Львів: Вид-во Національного

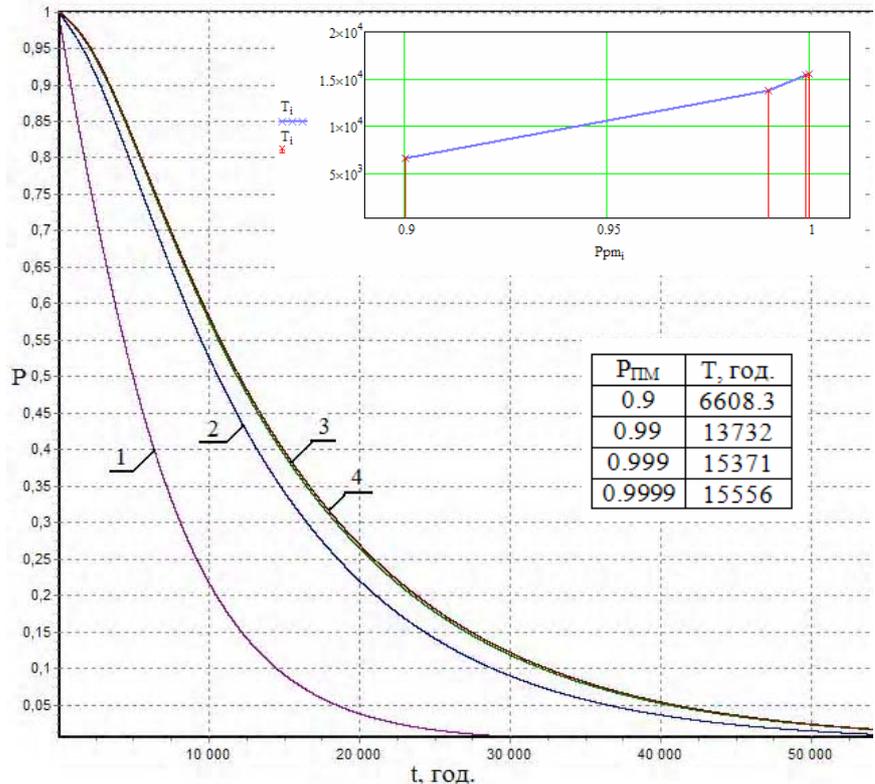


Рис. 3. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення ймовірності успішного перемикачання

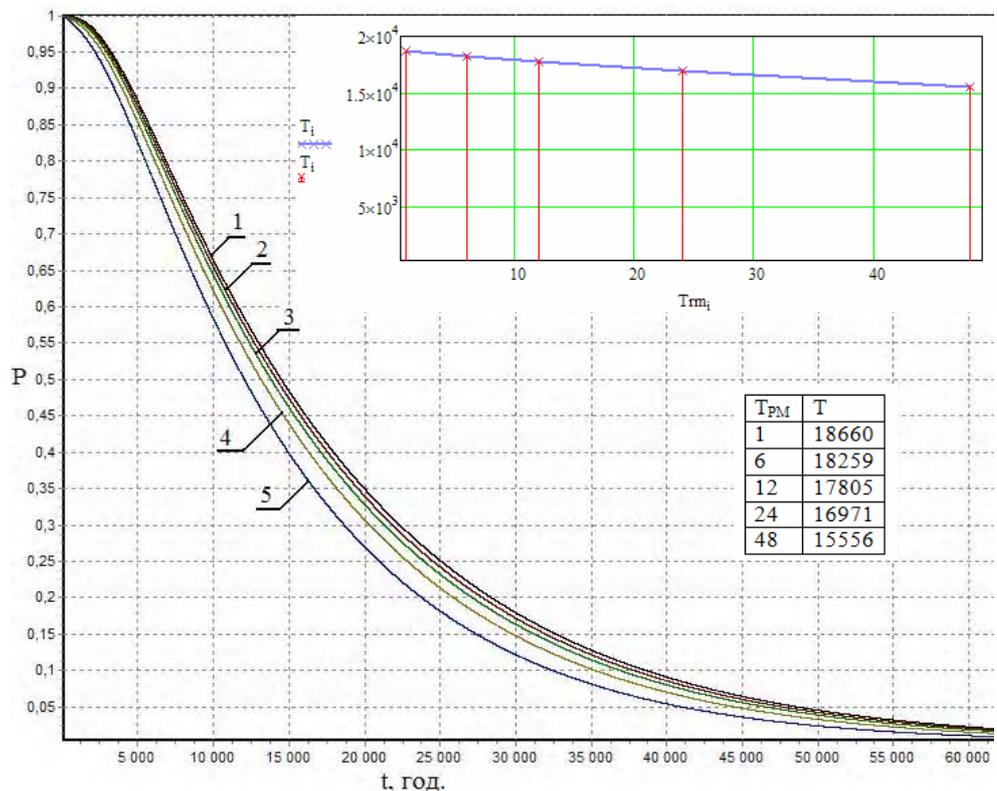


Рис. 4. Визначення чутливості тривалості безвідмовної роботи ДБЕЖ до зміни значення середньої тривалості відновлення працездатності несправного модуля блоку живлення

ун-ту «Львівська політехніка», 2004. 220 с. 4. *Неплохов И., Басов И.* Электроснабжение первой категории надежности и новая нормативная база по пожарной безопасности. 2009. Режим доступа: <http://articles.security-bridge.com/articles/101/12681/>. 5. *Волочій Б.Ю., Озірковський Л.Д., Муляк О.В., Гила В.Д.* Моделі для надійнісного проектування вузла пам'яті сервера та джерела безперебійного електроживлення // *Радіоелектроніка та телекомунікації. Вісник національного університету «Львівська політехніка»* №680. С. 206-216. 6. *Электроснабжение* центра обработки данных (ЦОД). Режим доступа: http://www.policom.ru/solution/engineering/power.php?sphrase_id=2533479. 7. Решения для повышения надежности систем ИБП – Абитех – Режим доступа: http://www.abitech.ru/solutions/improve_system_reliability_UPS.php. 8. Ed Spears Parallel UPS configurations – Eaton. 2009. Режим доступа: http://www.eaton.com/Electrical/USA/WhitePapers/idcplg?IdcService=GET_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&Rendition=Primary&dDocName=WP09-02. 9. *Еришов Г.А., Можжаев А.С., Викторова В.С.* и др. Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования. Отчёт о НИР. Санкт-Петербург, 2005. Режим доступа: http://www.szma.com/nir_00.pdf. 10. *Можжаев А.С., Демидов Ю.Ф.* Алгоритмические основы технологии автоматизированного структурно-логического моделирования в задачах системного анализа надежности, безопасности и риска Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды международ-

ной научной школы МА БР – 2002 (Санкт-Петербург 2-5 июля, 2002). СПб.: Издательство «Бизнес-Пресса», 2002. С.106-119. 11. *Правила* устройства электроустановок (ПУЭ). Издание седьмое. Режим доступа: <http://www.elec.ru/library/direction/pue.html>. 12. *Источники* бесперебойного питания (ИБП). Режим доступа: <http://www.powerinfo.ru/power-supply.php>. 13. *Каталог* продукции ООО Интеграл. Режим доступа: <http://integral.pp.ua/downloads1.html>. 14. *Системы* бесперебойного электропитания. N-Power. 2002. Режим доступа: http://www.230v.ru/_library/_refs/catalogues/2002/Catalogue-2002.pdf. 15. *Chris Loeffler* Maximizing UPS Availability – Eaton. 2011. Режим доступа: http://lit.powerware.com/ll_download_bylitcode.asp?doc_id=18350.

Поступила в редколлегию 20.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Волочій Богдан Юрійович, д-р техн. наук, професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка». Наукові інтереси: теорія і практика проектування структур та алгоритмів поведінки радіоелектронних інформаційних систем. Адреса: Україна, 79000, Львів, вул. Професорська, 2, тел. (032)258-21-56.

Кузнцов Дмитро Сергійович, аспірант кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, Національний університет «Львівська політехніка». Наукові інтереси: відмовостійкі системи для джерел безперебійного електроживлення, удосконалення технології аналітичного моделювання відмовостійких систем. Адреса: Україна, 79000, Львів, вул. Професорська, 2, тел. (032) 258-21-56.



МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ МЕЖГАЛАКТИЧЕСКИХ ПОЛЕТАХ И ТЕОРИЯ КОСМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

КАЧУР С.А.

Предлагается циклическая модель Вселенной, синтезирующая на новой основе ключевые положения наиболее известных космологических теорий, а именно, теории Эйнштейна, Фридмана и Гамова, связывая их введением космических часов. Данная модель дает возможность реализовать использование энергии космических объектов при межгалактических полетах.

1. Введение и постановка задачи

Освоение человечеством галактик и метagalactic возможно только в случае, если наша цивилизация овладеет энергией в масштабе своей галактики.

В 1919 г. в работе «Тем, кто будет читать, чтобы строить» Ю. В. Кондратюк предложил использовать гравитационное поле встречных небесных тел для доразгона или торможения космических аппаратов (КА) при полете в Солнечной системе (пертурбационный манёвр). Для пертурбационных манёвров предпочтительны небесные тела со значительной гравитацией, и в качестве таких тел могут быть использованы не только планеты, но и не очень горячие звёзды (коричневые, белые карлики), нейтронные звёзды и как максимум чёрные дыры [1,2]. При осуществлении пертурбационного манёвра у звёзд космический аппарат может получить несравненно больший импульс, чем у планет, и приращение скорости может составить от нескольких сотен км/с (Солнце) до десятков тысяч км/с (белые карлики) или сотен тысяч км/с (нейтронные звёзды, чёрные дыры). Сложным препятствием при осуществлении пертурбационного манёвра у Солнца является значительное нагревание обшивки КА светом и корпускулярным излучением (солнечный ветер), а также рентгеновское излучение. Манёвр с использованием для набора скорости белого карлика осложнён сильнейшим рентгеновским излучением и магнитными полями, а с использованием нейтронной звезды не только гораздо более интенсивным рентгеновским и радиоизлучением, но и сверхсильным магнитным полем.

В этой связи актуально использование при полетах КА не только гравитационных, но и электромагнитных полей, радиоизлучений.

Одной из задач ближайшего будущего является разработка новых подходов, отражающих имеющееся многообразие космологических моделей, в целях повышения эффективности использования энергии космических объектов.

В работе [3] дано сравнение основных теорий космологии: теории Эйнштейна, Фридмана и Гамова. Общая теория относительности допускает как статический мир, так и мир эволюционирующий, и во втором случае включает три варианта пространственной геометрии: гиперсферу, пространство Лобачевского и плоское пространство. Статическая модель Эйнштейна в виде гиперсферы противоречит изменению Вселенной. Теория Фридмана описывает динамику и геометрию расширяющейся Вселенной, но вопрос о геометрии расширяющегося мира до сих пор не решен. Наблюдательные данные остаются на этот счет в значительной степени неопределенными. Теория горячей Вселенной Гамова, основанная на теории Фридмана и законах термодинамики и ядерной физики, предполагает, что ранняя Вселенная представляла собой естественный ядерный реактор, в котором произошел синтез всех химических элементов природы. Подтверждением теории Гамова явилось открытие реликтового излучения.

Конечное назначение любой модели – описание объекта или процесса в принятых терминах и абстракциях в целях использования объекта или управления им при заданных ограничениях. Поскольку на основании астрономических наблюдений уже накоплено много фактов о Вселенной, подтверждающих правильность большинства теоретических выводов А. Эйнштейна, А.А. Фридмана, Г.А. Гамова, в настоящее время уже возможна разработка имитационных моделей межгалактических полетов для проведения экспериментов в земных условиях.

Цель работы – создание космологической модели, позволяющей разработать метод использования энергии космических объектов при межгалактических полетах космических аппаратов.

2. Циклическая модель Вселенной

Вопросы, связанные с циклическим изменением Вселенной, волновали человечество еще в древности. Так, основой восточной доктрины мироздания является теория циклов. В работе «Мир как пространство и время» А.А. Фридман выделил два типа Вселенной: стационарный и переменный. В этой же работе он писал: «Иллюстрацией первого типа Вселенной может служить шар, радиус которого не меняется с течением времени; двумерная поверхность этого шара будет как раз двумерным пространством постоянной кривизны. Второй тип Вселенной может быть изображен меняющимся все время шаром, то раздувающимся, то уменьшающимся, т.е. уменьшающим свой радиус и как бы сжимающимся... Переменный тип Вселенной представляет большое разнообразие случаев. Для этого типа возможны случаи, когда радиус кривизны мира... постоянно возрастает с течением времени.

Возможны далее случаи, когда радиус кривизны меняется периодически: Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения, далее опять, уменьшая радиус своей кривизны, обращается в точку и т.д.». В результате такого представления о переменном типе Вселенной А.А. Фридман сделал следующее заключение: «... все это пока должно рассматривать как курьезные факты, не могущие быть солидно подтвержденными недостаточным астрономическим экспериментальным материалом» [3]. В 1922г. А.Эйнштейн написал: «Результаты относительно нестационарного мира, содержащиеся в работе Фридмана, представляются мне подозрительными. В действительности оказывается, что указанное в ней решение не удовлетворяет уравнениям поля» [3].

Г.А. Гамов считал, что вначале был вселенский взрыв, который произошел одновременно и повсюду в мире, заполнив пространство горячим излучением и веществом, из которого через миллиарды лет образовались все астрономические тела, причем космологическое расширение было и в ранней Вселенной.

Как частный случай теории Фридмана рассматривают модель мира де Ситтера [3]. Релятивистская теория электрона послужила основой описания бесконечной отрицательной энергии – моря Дирака.

Все космологические модели являются гипотетическими, и каждая из них отражает лишь некоторые аспекты мироздания. Существующие космологические модели не описывают цикличность в существовании Вселенной. Это либо бесконечный процесс расширения, либо неизменность пространства. Первый подход противоречит логике движения во времени (время как фактор отсутствует, не влияет на пространство), второй подход – логике движения в пространстве (пространство как фактор отсутствует, не влияет на время), т.е. в этих подходах время и пространство не зависят друг от друга и, следовательно, нарушен принцип непрерывности движения (преобразования) во времени и пространстве.

Поэтому предлагается концептуальная модель мира, представленная на рис. 1, которая позволяет рассматривать периодичность изменения Вселенной во времени и пространстве. Назовем эту модель циклической моделью Вселенной.

Идея построения циклической модели не противоречит ни идеи статической Вселенной Эйнштейна, ни удалению или сближению галактик или расширению Вселенной Фридмана, ни теории Большого Взрыва, связанной с космическим реактором Гамова, поскольку объединяет оба подхода к описанию изменения Вселенной.

В отличие от представления А.А. Фридмана о переменном типе Вселенной в модели циклической Вселенной переменным является радиус тороида (см. рис.1), образованного движением двойного пульсара относительно центра сферы Вселенной, которая так же, как у А. Эйнштейна, остается неизменной. Радиус тороида

зависит от энергии Большого Взрыва. При этом максимальная величина этой энергии определяется максимумом вещества сферы Вселенной, количество которого постоянно с учетом преобразования формы. Расширение вещества после Взрыва и сжатие вещества до Взрыва идет не линейно, а по замкнутой траектории (окружности, эллипсу, линии магнитного поля). Поэтому процесс изменения пространства бесконечен. Область Взрыва ограничена тороидом. Горячее вещество перед Взрывом находится во всех точках этой области и имеет изначально тенденцию к расширению в соответствии с теорией Г.А. Гамова.

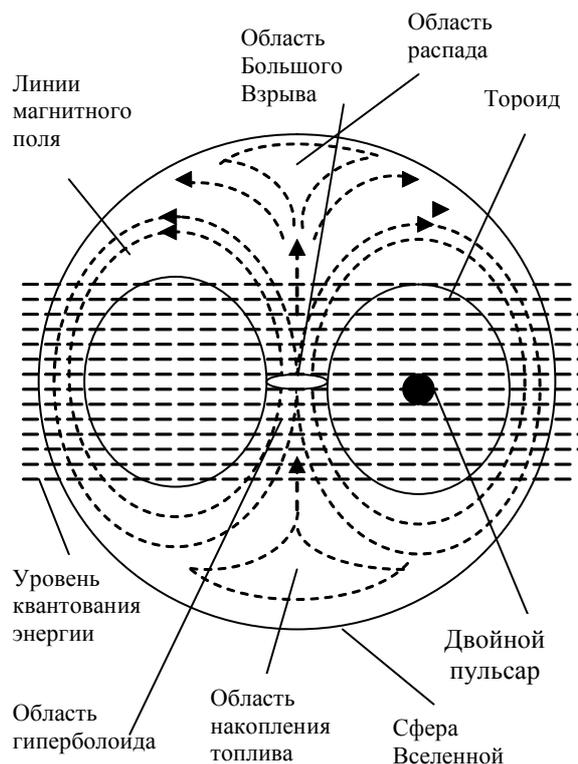


Рис. 1. Схема строения Вселенной при вертикальном сечении в циклической модели

Исходя из изложенного выше, следует, что все астрономические наблюдения, подтверждающие истинность существующих в настоящее время космологических моделей мира, в равной степени подтверждают и истинность предложенной циклической модели Вселенной.

Рассмотрим более детально разработанную модель Вселенной.

Вселенная неизменна в своих размерах и заключена в гиперсферу (для простоты рассуждения сферу в трехмерном пространстве), заполненную вакуумом. Относительно центра сферы вращается система двух пульсирующих сфер меньшего диаметра, представляющая собой некое подобие пульсаров в двойной системе. В результате движения двойная система описывает с одной стороны тороид, заполненный вакуумом, с траекторией движения пульсаров по центру, с другой – гиперболоид. Вне тороида по линиям магнитного поля движется темное вещество и светящееся

вещество. С внешней стороны тороида пространство представляет собой гиперсферу, кривизна пространства положительна и для него характерно расширение. Расширение имеет такую степень, что не позволяет концентрироваться ни темной, ни светящейся материи, т.е. темное и светящееся вещество равномерно распределено вне тороида. Пространство в гиперблоиде описывается геометрией Лобачевского. Кривизна такого пространства имеет знак минус и соответствует сжатию. Внутри гиперблоида происходит дифференцированно сжатие как темного, так и светящегося вещества. Если рассматривать геометрию различных уровней, пересекающих сферу Вселенной параллельно плоскости движения двойной системы, то внутри этих уровней пространство евклидово. В верхней части гиперблоида в соответствии с линиями магнитного поля происходит относительное расширение сжатого пространства, отражающееся в удалении галактик. При этом, для одного уровня при приближении к области распада начинается сближение линий поля и их стремление к границе гиперблоида, что определяет сближение галактик.

У основания гиперблоида находится область накопления вещества Вселенной, некое подобия урановой руды как материала для получения топлива ядерного реактора. В гиперблоиде происходит разделение и сжатие темного и светлого вещества, его преобразование под действием температуры, получение новых элементов, т.е. обогащение ядерного топлива. В верхней части гиперблоида находится область полной дезинтеграции (распада) космических объектов на обогащенное светящееся вещество и темное вещество. Гиперблоид одновременно можно рассматривать как ядерный реактор, работающий в нижней части как подкритический, в центральной как надкритический, а в верхней как аварийный после Большого Взрыва с выбросом продуктов деления, в том числе продуктов воспроизводства по аналогии с плутонием. Взрыв, точнее выброс энергии (продуктов деления) космическим реактором, происходит периодически с образованием нового уровня квантования энергии. Последующий уровень обладает большей энергией светлого вещества (меньшей темного вещества) по сравнению с предыдущим уровнем. Промежутки времени между Взрывами определяются частотой пульсаров двойной системы. Из-за искривления пространства уровни являются невидимыми друг для друга.

Таким образом, после каждого нового Взрыва мощность космического реактора возрастает. Существует предел мощности космического реактора, связанный с параметрами системы пульсаров – неких космических часов. Подобно двойной звездной системе энергия спутника перетекает на основную звезду одновременно с ростом мощности космического реактора. При уменьшении энергии спутника (практически до нуля) ход времени замедляется (растет угловая скорость вращения основной звезды), пространство сжимается (гиперблоид стремится к точке). Космичес-

кие часы опрокидываются, т.е. основная звезда становится спутником, и энергия начинает перетекать от него на новую звезду, рожденную в результате останова реактора. После достижения такого состояния космический реактор переходит на минимальную мощность, но уже с другим видом топлива, и цикл повторяется вновь. Сфера Вселенной всегда остается неизменной.

Существует неразрывная взаимосвязь между временем и пространством, т.е. наличие космического реактора невозможно без космических часов, и наоборот.

Исходя из предложенной модели Вселенной, логично сделать предположение, что рассматриваемая Вселенная является вечным двигателем, преобразующим энергию неорганического вещества (темного и светящегося).

Разумное начало уникально для неорганической Вселенной и появление человечества на одном из ее энергетических уровней не связано и не объясняется законами развития этой сферы Вселенной. Это означает лишь то, что существует, по меньшей мере, еще одна (возможно не единственная) сфера разумной Вселенной. Можно предположить, что в результате некоего взаимодействия различных сфер Вселенной органическая жизнь и человечество оказались на Земле.

Логично сделать вывод, что человечество не сможет существовать на следующем энергетическом уровне, связанном с новым этапом активности космического реактора, тем более пройти область распада перед новым циклом развития неорганической Вселенной. Вследствие сказанного выше можно сделать заключение, что неорганическая Вселенная не является исконной средой обитания разумных существ. Кроме того, для неорганической сферы Вселенной необходим начальный запуск «космических часов».

Предложенная модель в некотором смысле является обратной существующей модели строения галактики [3], в которой пространство внутри тороида (гиперблоид) заполнено недифференцированным темным и светящимся веществом, а внешнее к тороиду пространство, близкое к ядру, – множеством звездных систем на различных энергетических уровнях. При этом количество темного вещества значительно больше количества светящегося, по аналогии с соотношением между количеством первичного топлива и количеством продуктов воспроизводства в подкритическом ядерном реакторе (количество продуктов воспроизводства не превышает единиц процента). Таким образом, двойная система Вселенной соответствует ядру галактики, гиперблоид с веществом Вселенной – черной дыре, нулевой энергетический уровень – диску, остальные энергетические уровни – сферической подсистеме, внешнее пространство тороида – гало галактики, сфера Вселенной – сфере галактики.

Поскольку структура модели представляется универсальной, то ее при определенной интерпретации мож-

но применить для создания модели движения центра масс КА. Например, рассматривать Солнце как космический реактор, а наиболее близко расположенный к Земле радиопульсар в двойной системе как хронометр, определяющий длительность времени и, следовательно, протяженность пространства при наличии искусственного внешнего воздействия. Для любого космического тела (звезды солнечного типа, пульсара, квазара, планеты) местоположение поля гиперблоида (черной дыры тела) определяется осью вращения, проходящей от южного полюса к северному.

Таким образом, помимо разработки модели движения КА в искривленном пространстве, проблема включает создание искусственного воздействия в системе КА-Солнце-Радиопульсар, позволяющего получать пространство соответствующей кривизны с учетом характеристик КА. Представляется, что вблизи Солнца, например, на орбите Меркурия, должен находиться некий ретранслятор сигналов пульсара на Солнце.

Элементы циклической модели Вселенной могут быть использованы и при проведении экспериментов в земных условиях при подготовке межгалактических полетов. Приведем пример модели такого эксперимента.

3. Имитационная модель движения центра масс КА в межгалактических полетах для проведения экспериментов в земных условиях

Перейдем от концептуальной модели Вселенной к имитации поведения КА (объекта), использующего в галактических полетах энергию Солнца при воздействии ближайшего радиопульсара. В данном случае объект является ретранслятором энергии.

Предположим, применяется исследовательский реактор (аналог Солнца), имеющий массу ядерного топлива (^{235}U) $M_P=800\text{кг}$, с близко расположенным ретранслятором и источником радиоволн, аналог радиопульсара (П), находящийся на расстоянии $L_{\text{П}}$ от реактора (Р) и имеющий массу $M_{\text{П}}=3M_P=2400\text{кг}$. Необходимо рассчитать требуемую частоту источника радиоволн $\omega_{\text{П}}$, расстояние $L_{\text{П}}$ и частоту ω_P колебания реактивности реактора, а также определить параметры объекта (О), движущегося в направлении от реактора к источнику маломощного излучения частотой ω_0 , позволяющие определить пространство Лобачевского. К числу таких параметров относятся: скорость объекта V , масса объекта m , расстояние R от реактора до объекта, максимальная длина линейного участка траектории объекта L .

Траектория движения объекта представлена жирной сплошной линией на рис.2. Объект движется в плоскости, параллельной плоскости, в которой находятся реактор (Р) и источник радиоволн (П). При этом объект (он же одновременно ретранслятор) начинает движение из точки, расположенной над реактором на расстоянии R , а заканчивает в точке, расположенной над излучателем. Радиус кривизны траектории при таком движении соответствует расстоянию R между

параллельными плоскостями. Пунктирные линии отражают расстояния соответственно между реактором и излучателем ($L_{\text{П}}$), объектом и реактором, объектом и излучателем, началом и концом траектории движения объекта (L).

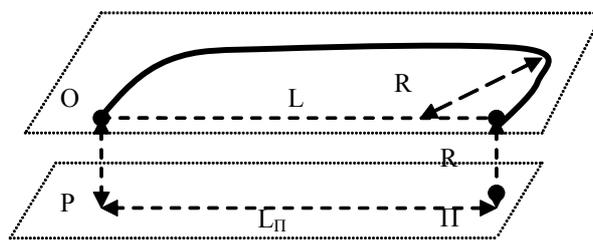


Рис.2. Схема расположения реактора, источника радиоволн и объекта

Для использования влияния продуктов воспроизводства рассмотрим реактор с твердым замедлителем. В реакторах с твердым замедлителем, имеющим в составе топлива ^{239}Pu , коэффициент реактивности по температуре замедлителя может быть положительным. Коэффициент реактивности по температуре замедлителя, будучи отрицательным в начале кампании, когда в топливе отсутствует плутоний, может стать положительным по мере работы реактора с накоплением плутония.

Перемена знака этого коэффициента означает, что доля тепловых нейтронов, поглощаемых делящимися изотопами, возрастает с повышением температуры. Это увеличение связано с резонансом ^{239}Pu при энергии 0,3 эВ. Смещение спектра тепловых нейтронов в замедлителе приводит к тому, что с увеличением температуры повышается число нейтронов с энергиями, близкими к резонансу ^{239}Pu [4].

Из графиков амплитудных и фазовых частотных характеристик подкритического и надкритического реактора, представленных в работе [2], следует, что при частоте $\omega_P=0,16\cdot 3\text{с}^{-1}$ угол сдвига θ между колебаниями реактивности и мощности минимален. Кроме того, величина θ зависит от l времени жизни мгновенных нейтронов. С уменьшением l ($l=10^{-3}\div 10^{-8}\text{с}$) величина θ стремится к нулю.

Для реактора нулевой мощности в области относительно высоких частот на основе передаточной функции [4] коэффициент усиления определяется следующим образом

$$K \equiv |W(j\omega)| \approx (\omega l)^{-1}, \quad (1)$$

а угол сдвига между колебаниями реактивности и мощности рассчитывается по формуле

$$\theta(\omega l) \approx \text{arctg}(-\omega l / \beta), \quad (2)$$

где l – время жизни мгновенных нейтронов; β – доля запаздывающих нейтронов по отношению к полному числу нейтронов.

Используя соотношение (1) при $l=10^{-8}$ с и $\omega_p=0,16 \cdot 3 \text{ с}^{-1}$ определяем коэффициент усиления $K=2,1 \cdot 10^8$.

Период разгона реактора определяем по формуле [2]

$$T = \frac{1}{\beta |W(j\omega)| \omega_p} \quad (3)$$

В случае накопления плутония $\beta=0,0021$.

Для определения необходимой частоты источника радиоволн ω_{II} будем рассматривать явление стоячей волны в ограниченной струне длиной L_{II} с закрепленным правым концом (см. рис.2) при внешнем воздействии на ее левый конец реактора.

Период колебаний для стоячей волны определяется формулой [5]

$$T = \frac{\lambda}{u}, \quad (4)$$

где u – скорость распространения волны.

Приравняв правые части (3) и (4) при условии, что $u = |W(j\omega)|$, получаем

$$\lambda = \frac{1}{\beta \omega_p} \quad (5)$$

Принимая $u=c$ (c – скорость света) и используя соотношение (5)

$$\lambda = \frac{2\pi}{\omega_{II}} u, \quad (6)$$

рассчитываем необходимую частоту источника радиоволн ω_{II} для эквивалентной группы запаздывающих нейтронов:

$$\omega_{II} = 2\pi c \beta \omega_p, \quad (7)$$

$\omega_{II}=1,89 \cdot 10^6$ рад/с.

Необходимо отметить, что запаздывающие нейтроны при расчете кинетики реактора обычно подразделяют на шесть групп, характеризующихся периодом полураспада. В соответствии с этим множество частот ω_{IIi} ($i=1,6$) определяется формулой

$$\omega_{IIi} = 2\pi c \beta_i \omega_p, \quad (8)$$

где β_i – доля запаздывающих нейтронов по отношению к полному числу нейтронов для i -й группы ($i=1,6$).

В дальнейшем формулы приводятся для эквивалентной группы, поскольку они аналогичны для любой из групп запаздывающих нейтронов.

Для искривления пространства необходимо выполнение следующего соотношения:

$$\frac{\omega_{II} L_{II}}{\pi} = c \quad (9)$$

Если бы рассматриваемая система включала только реактор (приемник радиоволн) и источник радиосигнала, то коэффициент усиления должен был бы равняться скорости света $K=c$ и произошел бы разгон реактора при частоте колебания реактивности ω_p^P :

$$\frac{1}{\omega_p^P l} = c \quad (10)$$

Исходя из (1), при $K=c$ можно рассчитать скорость объекта V_0 из соотношения

$$\frac{V_0}{\omega_p l} = c \quad (11)$$

В действительности скорость объекта V меньше V_0 из-за наличия Доплер-эффекта топлива

$$\frac{V}{\omega_p l} < c \quad (12)$$

Определим для нашего случая отношение верхней (ω_B) и нижней границы (ω_H) частоты реактивности, используя формулу [4]:

$$\frac{\omega_B}{\omega_H} = \frac{10\beta}{l} \quad (13)$$

Соотношение для расчета скорости объекта V при наличии Доплер-эффекта топлива будет иметь вид

$$\frac{\frac{V_0}{\omega_p l} - \frac{V}{\omega_p l}}{\frac{1}{\omega_p^P l}} = \frac{V}{c} \cdot \frac{10\beta}{l} \quad (14)$$

Преобразовав (14), учитывая

$$V_0 = c \omega_p l, \quad (15)$$

$$c \omega_p^P l = 1, \quad (16)$$

определяем скорость объекта

$$V = \frac{c \omega_p l}{1 + 10\beta \omega_p} \quad (17)$$

Для рассматриваемого примера при $\beta=0,0021$ (для ^{239}Pu) $V=1,42$ м/с.

При отсутствии объекта соотношение (14) примет вид

$$\frac{\frac{1}{\omega_p^P l} - \frac{V}{\omega_p^P l}}{\frac{1}{\omega_p^P l}} = \frac{V}{c} \cdot \frac{10\beta}{l}, \quad (18)$$

а выражение (17) изменится следующим образом, определяя изменение скорости выбросов реактора:

$$V = \frac{1}{1 + \frac{10\beta}{lc}} \quad (19)$$

Аналитическая взаимосвязь соотношений скоростей объекта, реактора, источника радиосигналов с учетом Доплер-эффекта описывается соотношениями

$$c^2 - \left(\frac{V}{\omega_p l} \right)^2 = u^2, \quad (20)$$

$$V' = \frac{V}{\omega_p l}, \quad (21)$$

$$u = c \sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}, \quad (22)$$

$$\frac{\omega_{II} L_{II}}{\pi} = \frac{u}{\sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}}. \quad (23)$$

Подставляя конкретные значения в (21)-(23), получаем: $V'=2,96 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $u=0,48 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $L_{II}=496 \text{ м}$.

С помощью закона сохранения импульса [5], учитывая $M_{II}=3M_p$, определяем массу объекта:

$$cM_p - \frac{mV'}{\sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}} = 3M_p u, \quad (24)$$

$$m = \frac{M_p (c - 3u) \sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}}{V'}. \quad (25)$$

Масса объекта составляет $m=67,5 \text{ кг}$.

Определение траектории движения объекта включает расчет расстояния R до реактора в момент получения импульса, а также длину пути L . Энергия, затраченная реактором на перемещение объекта на расстояние L , эквивалентна энергии источника радиоволн, затраченной для перемещения реактора на расстояние L_{II} , т.е. на разгон реактора. Исходя из того, что искривление пространства не зависит от наличия или отсутствия объекта, принимаем $L = L_{II}$.

Масса объекта определяется в соответствии с теорией относительности

$$m_0 = \frac{m}{\sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}}. \quad (26)$$

При подстановке конкретных значений в (26) $m_0=421 \text{ кг}$.

Пространство Лобачевского получается при сжатии евклидова пространства. Этот процесс с точки зрения геометрии можно представить как деформацию цилиндра, в результате которой стенки цилиндра прогибаются внутрь, а основание растягивается в стороны. Расчет длины и радиуса такого деформированного цилиндра определяем по формулам

$$L' = L \sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}, \quad (27)$$

$$R = L' \operatorname{tg} \alpha, \quad (28)$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}, \quad (29)$$

$$\cos \alpha = \frac{V'}{c}, \quad (30)$$

$$R = L \left(1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2 \right) \frac{c}{V'}. \quad (31)$$

В результате расчета $L'=80 \text{ м}$, $R=12,6 \text{ м}$.

Определим частоту источника излучения объекта из (15) и (28):

$$\frac{\omega_0 L}{\pi} = V', \quad (32)$$

$$\omega_0 = \frac{\pi V}{\omega_p L}. \quad (33)$$

Подставив эти значения в (25), получим $\omega_0=1,88 \cdot 10^6 \text{ рад/с}$.

Таким образом, $\omega_0 \approx \omega_{II}$, что является одним из условий нахождения объекта в искривленном пространстве.

Время t_0 в искривленном пространстве в соответствии с теорией относительности определяется формулой

$$\tau_0 = \frac{\tau}{\sqrt{1 - \left(\frac{V'}{c} \right)^2}}, \quad (34)$$

$$\tau = \frac{L}{V}. \quad (35)$$

Величина временного интервала в искривленном пространстве замедляется в 6,22 раза.

Для реактора в области относительно низких частот соотношение (1) примет вид

$$K \equiv |W(j\omega)| \approx \frac{\lambda_p}{\omega_p \beta}, \quad (36)$$

где λ_p – постоянная распада эквивалентной группы мгновенных нейтронов; β – доля запаздывающих нейтронов по отношению к полному числу нейтронов; ω_p – частота колебания реактивности реактора.

Исходя из того, что для низких частот период разгона реактора зависит только от λ_p

$$T = \frac{1}{\lambda_p}. \quad (37)$$

формула (3) не изменит своего вида.

Поскольку для низких частот $u \ll c$,

$$\frac{\omega_{II} L_{II}}{\pi} = u, \quad (38)$$

$$\frac{\lambda_p}{\omega_p \beta} = u, \quad (39)$$

соотношение (7) изменится следующим образом:

$$\omega_{II} = 2\pi i \beta \omega_p. \quad (40)$$

При создании условий выполнения соотношений (38)-(40) искривление пространства имеет коэффициент больше единицы, т.е. евклидовое пространство становится гиперсферой и, следовательно, происходит уменьшение временного интервала T (время идет быстрее относительно исходной системы координат), λ_p растёт и коэффициент усиления увеличивается. Рост λ_p ограничивается скоростью света, однако допустимое значение реактивности ограничивается β . В этом случае реактор при нулевой мощности является неустойчивой системой. В случае искривления пространства на высоких частотах сначала происходит увеличение временного интервала T (замедление времени относительно исходной системы координат) и увеличение времени жизни мгновенных нейтронов l и, следовательно, уменьшение частоты ω_p , т.е. разгон реактора. Однако замедление ограничено скоростью ($u \leq c$), поэтому происходит стабилизация частоты колебания реактивности на уровне ω_p^p . Данный вывод согласуется с анализом передаточной функции подкритического и надкритического реакторов [4].

Таким образом, описан эффект (формулы (14), (21)-(23)), возникающий при воздействии на ядерный реактор (ядерное топливо) высокочастотного электромагнитного излучения, способного привести к разгону реактора, при наличии в радиусе действия реактора движущегося объекта с несубсветовой скоростью, имеющего источник электромагнитного излучения в этом же диапазоне. Эффект искривления пространства связан с взаимодействием источника излучений и ядерного реактора (формулы (18)-(19)), однако его проявление возможно лишь при наличии движущегося объекта с требуемыми характеристиками. В любом случае (при наличии объекта или его отсутствии) при высокочастотном электромагнитном воздействии рост реактивности не переводит реактор в критическое состояние, а создает искривление пространства, определяемое характеристиками реактора. В созданном пространстве в соответствии с теорией относительности происходит замедление времени, растёт масса, объект осуществляет движение с субсветовой скоростью и становится невидимым в исходном пространстве.

4. Заключение

Теоретическая новизна. Разработанная и подробно вербально описанная циклическая модель Вселенной позволяет синтезировать на качественно новой осно-

ве взаимосвязи наиболее известных космологических моделей, представляя их как отражение различных аспектов единого целого, нивелируя существующие противоречия взглядов на строение Вселенной. Введено понятие «космических часов», определена их взаимосвязь с космическим реактором. Циклическая модель Вселенной даёт более целостную картину мироздания и с точки зрения положения человечества в нём.

Описан эффект искривления пространства в случае воздействия высокочастотного электромагнитного излучения на ядерный реактор.

Практическая значимость. Циклическая модель Вселенной открывает перспективы для использования в будущем человечеством при межгалактических полетах энергии космических объектов, а именно звезд солнечного типа, нейтронных звезд, квазаров и т.д. Такой подход к использованию космической энергии предполагает знание пространственно-временной топологии видимой Вселенной и создание новых типов двигателей для КА. Кроме того, универсальность используемых в модели законов позволяет применять их в земных условиях. Выполнен расчет модели для экспериментов в условиях Земли.

Выводы. Представляется, что использование описанного в статье эффекта искривления пространства открывает новые возможности применения ядерной энергии как в условиях Земли, так и за пределами Солнечной системы при освоении космического пространства.

Литература: 1. traditio.ru.org/wiki/Пертурбационный_модель 2. Раушенбах Б.В. Управление движением космических аппаратов. М.: Знание, 1986. 64с. 3. Черпацук А.М., Чернин А.Д. Вселенная, жизнь, черные дыры. Фрязино: Век 2, 2007. 320 с. 4. Емельянов И.Я., Ефанов А.И., Константинов Л.В. Научно-технические основы управления ядерными реакторами. М.: Энергоиздат, 1981. 360с. 5. Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С. Физика. М.: Наука, 1979. 608с.

Поступила в редколлегию 11.04.2012

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Копп В.Я.,
д-р техн. наук, проф. Волошук Ю.И.

Качур Светлана Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Севастопольского национального университета ядерной энергии и промышленности. Научные интересы: сети Петри, моделирование, управление сложными техническими системами, системный анализ сложных систем управления, безопасность управления реакторными установками. Адрес: Украина, 99029, Севастополь, пр. Острякова, 74-9, (0692) 57-09-92, 0934310286.

ПРОЦЕСС РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТИЦ ПОРОШКОВОЙ МАССЫ ПО РАЗМЕРАМ

ВОВК А.В., ПОДГОРБУНСКИЙ Н.С.

Рассматривается процесс измельчения твёрдых частиц в сепараторах. Исследуется способ распределения твёрдых частиц по размерам при помощи воздушно-центробежных сепараторов. Описывается процесс сепарации и определяются силы, действующие на мелкодисперсные частицы. Выводятся формулы для сил, действующих на частицы в зависимости от дисперсных характеристик рассматриваемых частиц. Определяются факторы, которые наиболее сильно влияют на точность процесса сепарации.

1. Введение и постановка задачи

Рассмотрим процесс распределения твёрдых мелкодисперсных частиц при помощи механических аппаратов. Измельчение крупных твёрдых частиц до частиц малых размеров обычно производится в целях ускорения процесса перемешивания порошковых масс. Так как на практике все материалы, применяемые в промышленных целях, обычно представлены в твёрдых крупнодисперсных состояниях, то измельчение является одним из основных способов их переработки. В работах [1-5] были рассмотрены различные способы измельчения твёрдых крупнодисперсных материалов. Эта статья является продолжением исследований, начатых в [1]. Далее механический способ измельчения будет рассмотрен как наиболее простой и экономичный из всех методов диспергирования.

Условия формирования порошковых масс зависят от физико-химических свойств исходного материала и дисперсных свойств частиц, физико-химических характеристик среды. Зачастую требуется получить мелкодисперсные порошковые смеси с заданными характеристиками (диаметр частиц, свойства поверхности и т.д.) при минимальных затратах энергии и времени. С этой целью изучается воздействие на различные виды материалов разных возмущений (механических, гидравлических, химических, энергетических [4,5]).

Технологический процесс измельчения твёрдых частиц в специальных аппаратах можно разделить на два этапа. Первый этап – измельчение частиц под действием возмущений, направленных из внешней среды на исходный материал. Второй этап – собственно формирование порошковой массы с заданными характеристиками. Задачей исследования процессов измельчения является, в частности, изучение физико-химических и поверхностных свойств материала (знание этих свойств необходимо для того, чтобы определить влияние воздействия частиц порошковой массы друг на друга). Знание физико-химических свойств поверхностей частиц в ряде случаев необходимо для опреде-

ления условий, при которых они могут быть применены на практике.

Целью работы является: а) исследование процесса измельчения твёрдых частиц порошковой смеси в различных частях сепаратора; б) исследование сил, действующих на частицы, в зависимости от дисперсных характеристик частиц; в) установление факторов, которые наиболее сильно влияют на процесс распределения частиц внутри сепаратора.

Задача работы состоит в построении математической модели процесса распределения мелкодисперсных частиц в воздушно-центробежных сепараторах.

2. Распределение частиц порошковой массы по их размерам

Принцип действия воздушно-центробежных сепараторов состоит в следующем: частицы исходного материала подвергаются одновременно действию двух сил – центробежной, которая создаётся вращением потока, и радиальной, создаваемой движением потока к центру сепарационной камеры. При рассмотрении стационарного случая можно прийти к выводу о равенстве двух указанных сил, которое определяется радиусом круговой траектории частиц порошковой массы заданных размеров. Если же частицы будут больших диаметров, чем расчётные, то они будут перемещаться по спирали к краям сепарационной камеры, а частицы с диаметрами меньше заданного – также по спирали к центру сепаратора.

Исследуем случай, когда выполняются условия:

1) Любую фиксированную частицу можно рассматривать как частицу сферической формы (или формы, которую можно привести к сферической при помощи использования определённого эквивалентного сферы ее размера и коэффициента формы) в контексте теории сепарации в центробежно-воздушных полях.

2) Предполагаем, что частицы порошковой массы не соприкасаются с движущимися деталями сепаратора, т.е. частица рассматривается как свободно подвешенная в потоке.

Рассмотрим основные силы, действующие на процесс.

Сила потока, который переносит частицу:

$$\varphi_f = \frac{1}{8} k\pi\theta d^2 \rho_{cp} v_r^2. \quad (1)$$

Центробежная сила, действующая на сферическую частицу диаметром d , равна:

$$\varphi_c = \pi d^3 (\rho - \rho_{cp}) \frac{v_\tau}{6R}. \quad (2)$$

Здесь ρ и ρ_{cp} – соответственно плотность частицы и среды, в которой производится сепарация; R – радиус траектории; v_τ и v_r – тангенциальная и радиальная составляющие скорости потока на расстоянии R от центра; θ – безразмерный коэффициент, учитывающий отклонение формы частицы от сферической,

$$k = 24 \operatorname{Re} \text{ при } 0 < \operatorname{Re} < 1, \quad (3)$$

$$k = 13 \operatorname{Re}^{\frac{1}{3}} \text{ при } 1 < \operatorname{Re} < 10, \quad (4)$$

где параметр Re – число Рейнольдса.

Равенство сил φ_c и φ_f определяет граничный размер частиц d_O , находящихся на круговой траектории заданного радиуса.

Для частиц минимальных размеров и небольших скоростей в соответствии с условием (3) имеем

$$d_O = 4,24 \left(\frac{\rho}{\rho - \rho_{cp}} \theta \right)^{\frac{1}{2}} (Rv_\tau)^{\frac{1}{2}} v_\tau^{-1}. \quad (5)$$

В случае частиц средних размеров и достаточно больших скоростей v_τ в соответствии с (4) имеем:

$$d_O = 4,54 \left[\left(\frac{\rho}{\rho - \rho_{cp}} \theta \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} \frac{R^{\frac{2}{3}} v_\tau}{v_\tau^{\frac{4}{3}}}, \quad (6)$$

$$v_r = \frac{V}{2\pi} R h, \quad v_\tau = v_{\tau 0} \left(\frac{R_0}{R} \right)^\delta. \quad (7)$$

Здесь V – объемный расход воздуха; h – высота зоны разделения [6]; $v_{\tau 0}$ – тангенциальная составляющая у внешней границы зоны; R_0 – расстояние внутренней границы зоны до центра. В зависимости от способа формирования потока величина δ может изменяться в пределах $-1 \leq \delta \leq 1$.

При $\delta = 0$ и $h(R) = \text{const}$ для частиц наименьших размеров $v_\tau = \text{const}$ и d_O не зависит от R . Следовательно, процесс сепарации обычно распределяет частицы только по одной из их характеристик, в зависимости от их дисперсности (т.е. по размеру в зависимости от величины диаметра). Круговые траектории движения частиц одинаковых размеров в пределах зоны сепарации являются устойчивыми, а значит частицы с достаточно близкими дисперсными характеристиками могут находиться в этой зоне достаточно долго. Этот случай является идеальным для работы сепаратора. Для такого процесса необходимым условием является следующее утверждение: угловая скорость потока увеличивается пропорционально $\frac{1}{R}$ по мере приближения потока к центру. Любые частицы, размеры которых больше d_O , попадая в рассматриваемую нами зону, будут по спиралям удаляться к краям сепарационной зоны, а частицы диаметров мельче d_O – также по спиралям к центру.

Если $0 < \delta \leq 1$, то на круговых орбитах, приближающихся к центру, частицы с близкими дисперсными характеристиками будут больших размеров, а при

$-1 \leq \delta < 0$ – меньших. Отсюда получаем следующее утверждение: при $\delta \neq 0$ в сепараторе существует несколько зон распределения частиц порошковой массы, а некоторая область, которую можно определить при помощи формул (5) и (6).

Движение частиц (одинаковых по своим дисперсным характеристикам) по круговым траекториям при $\delta \neq 0$ является неустойчивым. Возмущения потока и случайные перемещения частиц будут переводить их на спиральные траектории и направлять в один из продуктов сепарации.

С помощью формул (5)-(7) можно получить следующее соотношение:

$$\frac{d_{O1}}{d_{O2}} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^\delta. \quad (8)$$

Здесь R_1 и R_2 – граничные радиусы области сепарации; d_{O1} и d_{O2} – равнозначные размеры частиц на внешней и внутренней границах зоны распределения.

Частицы с размерами $d_{O1} < d < d_{O2}$, в зависимости от места их попадания в зону сепарации, могут попасть как в крупнодисперсный порошок, так и в мелкодисперсную порошковую смесь. Поэтому в мелкодисперсную смесь будут входить все частицы мельче d_{O2} , а в крупнодисперсную – все частицы, дисперсные характеристики которых больше d_{O1} .

Доля частиц заданного размера, попадающих в определенную зону сепарации, равновероятна (при условии, что попадание частицы в любую точку зоны пропорционально ширине этой зоны).

Из приведенных выше условий и на основании (8):

$$\frac{\pi R^2 - \pi R_1^2}{\pi R_2^2 - \pi R_1^2} = \frac{\left(\frac{R}{R_1} \right)^2 - 1}{\left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 - 1} = \frac{\left(\frac{d}{d_{O1}} \right)^\delta - 1}{\left(\frac{d_{O2}}{d_{O1}} \right)^\delta - 1}. \quad (9)$$

Состав мелкодисперсной части порошковой массы представляет собой:

$$J(d) = \int_0^{d_{O1}} F(d) dd + \int_{d_{O1}}^{d_{O2}} \frac{\left(\frac{d}{d_{O1}} \right)^\delta - 1}{\left(\frac{d_{O2}}{d_{O1}} \right)^\delta - 1} F(d) d(d). \quad (10)$$

На основании (9) и (10) можно вывести коэффициенты полезного действия сепаратора:

$$\eta_1 = \frac{J(d)}{\int_0^{d_{O2}} F(d) d(d)}, \quad (11)$$

$$\eta_2 = \frac{\int_0^{d_{O1}} F(d)d(d)}{J(d)}. \quad (11')$$

Если параметр δ заметно отличается от нуля, а отношение $\frac{R_2}{R_1}$ велико (порядка 2–5), то точность распределения частиц по их размерам и КПД классификации низкие (при условии, что на $[d_{O1}, d_{O2}]$ приходится значительная часть порошковой массы).

В общем случае точность процесса сепарации при фиксированных параметрах распределения определяется изменениями сил, которые действуют на частицы критических размеров. Можно сделать вывод, что точность распределения частиц зависит от следующего условия: *чем быстрее изменяются действующие на компоненты порошковой массы возмущения, тем точнее будет конечное их распределение.* Это свойство также определяет предпочтительное использование воздушно-центробежных сепараторов в сравнении с гравитационными при распределении малых частиц.

Действительно, для гравитационной силы и противодействующей ей силы воздушного потока

$$\begin{aligned} \varphi_{af} &= \frac{1}{6} \pi(\rho - \rho_{cp})gd^3 - 3\pi\mu d v_f = \\ &= \frac{1}{6} \pi(\rho - \rho_{cp})g(d^3 - dd_p^2), \end{aligned} \quad (12)$$

где μ – динамическая вязкость среды; v_f – скорость потока относительно частицы, а d_p – равновесное значение размера частиц для $\varphi = 0$:

$$d_p^2 = \frac{18\mu v_f}{(\rho - \rho_{cp})g}.$$

Величина производной и дифференциал d в точке $d = d_p$ равны

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_{af}}{d(d)} &= \frac{1}{6} \pi(\rho - \rho_{cp})g(3d^2 - d_p^2); \\ d(d)|_{d=d_p} &= \frac{3d\varphi}{\pi(\rho - \rho_{cp})gd_p^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Для центробежных полей

$$\begin{aligned} \varphi_c &= \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho - \rho_{cp}) \omega^2 R - \frac{13}{8} \pi \rho_{cp} v^2 d^2 v^2 = \\ &= \frac{1}{6} \pi (\rho - \rho_{cp}) \omega^2 R (d^3 - d^2 d_0^2), \end{aligned} \quad (14)$$

где ω – угловая скорость вращения на расстоянии R от центра. Равновесное значение размера частиц на расстоянии R от центра вращения равно

$$d_p = \left(\frac{39 v_f^2 \rho_{cp} v^2}{4 \omega^2 R (\rho - \rho_{cp})} \right)^{\frac{1}{3}}.$$

Величина производной и дифференциал в точке $d = d_p$ для центробежных полей равны

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_c}{d(d)} &= \frac{1}{6} \pi (\rho - \rho_{cp}) \omega^2 R (3d^2 - \frac{3}{2} d_p^2 d^{\frac{1}{2}}); \\ d(d)|_{d=d_p} &= \frac{4d\varphi}{(\rho - \rho_{cp}) \omega^2 R d_p^2}. \end{aligned} \quad (15)$$

Сравнивая формулы (13) и (15), можно видеть, что величина дифференциала dd при равных значениях $d\varphi$ в случае центробежных полей меньше, чем в случае гравитационного поля.

Из формул (13) и (15) следует, что с уменьшением граничного размера величина случайного отклонения размеров частиц по обе стороны границы их разделения увеличивается достаточно быстро. Следовательно, точность сепарации с ростом дисперсности резко падает, а экспериментальные трудности реализации процесса распределения возрастают.

На качестве сепарации сказывается также значение разности плотностей сепарируемых частиц и среды. Очевидно, качество сепарации тем лучше, чем плотность частиц выше и чем менее плотной является сепарационная среда.

3. Заключение

Научная новизна. Исследован процесс распределения твёрдых частиц порошковых смесей в воздушно-центробежных сепараторах. Рассмотрен процесс движения частиц в сепараторе с течением времени. Выведены формулы для сил, действующих на частицы в зависимости от их дисперсных характеристик. Установлены факторы, которые наиболее существенно влияют на процесс распределения частиц внутри сепаратора.

Практическая ценность такого метода обработки мелкодисперсных частиц состоит в том, что мы можем получить порошковую смесь с определённым распределением частиц по их размерам.

Результаты исследований могут быть применены для получения массивов частиц, используемых на производстве. Следует учитывать, что рассматривался идеальный случай движения частиц в сепараторе. Поэтому полученные результаты следует предварительно опробовать в лабораторных условиях.

Литература: 1. Вовк А.В., Дикарев В.А., Подгорбунский Н.С. Управление процессом формирования порошковых смесей // АСУ и приборы автоматики, 2008. №147. 2. Агапова И.С., Дикарев В.А., Подгорбунский Н.С. Эволюция скачков и изломов импульсов при их распространении в информационном канале. 3. Коузов П.А. Основы

анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: Химия, 1987, 264с. **4. Гора Н.Н., Вовк А.В.** Вывод системы дифференциальных уравнений, описывающей процесс обработки многокомпонентной смеси // Вестник НТУ ХПИ, тематический выпуск «Информатика и моделирование», В23, 2006. С. 19-28. **5. Вовк А.В.** Процесс формирования порошковых масс в объеме активной смеси // Радиоэлектроника и информатика, 2007. С. 141-144. **6. Авдеев Н.Я.** Расчёт гранулометрических характеристик полидисперсных систем. Ростов н/Д: ростовское книжн. Изд-во, 1966. 54с.

Поступила в редколлегию 21.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кривуля Г.Ф.

Вовк Александр Владимирович, старший преподаватель кафедры «Медиасистемы и технологии» ХНУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей, случайные процессы. Адрес: Украина, 61100, Харьков, пр. Маршала Жукова, 45, кв. 16, тел. 716-16-88.

Подгорбунский Никита Сергеевич, аспирант кафедры «Прикладная математика» ХНУРЭ. Научные интересы: теория вероятностей, случайные процессы. Адрес: Украина, 61195, Харьков, ул. Метростроителей, 15, кв. 23, тел. 716-02-70.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА



УДК 681.326:519.613

ИНФРАСТРУКТУРА ВСТРОЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ PLD-СХЕМ

MURAD ALI ABBAS, ХАХАНОВ В.И.,
ЛИТВИНОВА Е.И., ХАХАНОВА И.В.

Предлагается инфраструктура моделирования комбинационных схем, ориентированная на решение практических задач встроенного восстановления работоспособности компонентов логических устройств. Логическая схема дополняется операционным и управляющим автоматами моделирования цифровых устройств, что увеличивает время обработки и аппаратные затраты для создания оболочки адресуемых элементов. Структуры также можно использовать для аппаратного моделирования функциональностей цифровых проектов на основе использования PLD, что дает возможность существенно повысить быстродействие верификации программных моделей. Предложенное решение задачи встроенного ремонта логических элементов комбинационных схем дает возможность комплексно решать проблему автономного восстановления работоспособности цифровых систем на кристаллах за счет временной и аппаратной избыточности проекта.

1. Введение

Понятие адресного выполнения логических операций, реализованных на элементах памяти LUT в программируемых логических устройствах (PLD), дает потенциальную возможность создавать на кристалле только адресное пространство для встроенного восстановления работоспособности всех компонентов, участвующих в формировании функциональности [1-18]. Актуальность создания адресного пространства для всех компонентов подтверждается следующим распределением логики и памяти на кристалле, представленным на рис. 1.

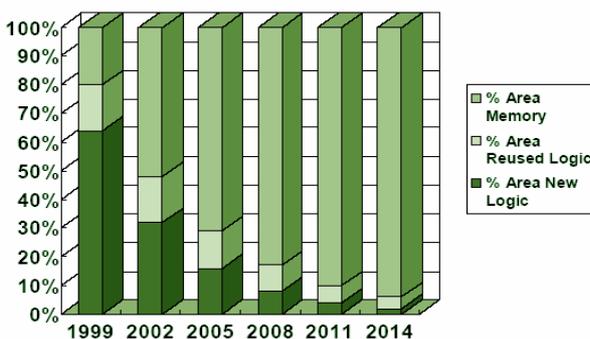


Рис. 1. Соотношение памяти и логики на кристалле

Тенденция к увеличению памяти влечет возможность встроенного восстановления работоспособности отказавших ячеек за счет выделенных дополнительных ресурсов для их ремонта (spare logic cells). Проблема автономного устранения дефектов (самовосстановления работоспособности) логических элементов связана с отсутствием у них адресов. Но решить ее можно, если связи между элементами логики сделать гибкими с помощью программы описания структуры, помещенной в память, которая соединит логические компоненты в схему. Кроме структуры взаимодействия элементов, память должна содержать порядок их обработки. В случае возникновения дефекта в одном из адресуемых логических элементов система встроенного тестирования восстановит его работоспособность путем переадресации на заведомо исправный аналог из ремонтного запаса.

Цель – повышение качества цифровых систем на кристаллах путем создания инфраструктуры встроенного тестирования, диагностирования, оптимизации, восстановления работоспособности за счет аппаратной избыточности и уменьшения быстродействия выполнения функциональности [1-18].

Задачи и источники. 1) Разработка математической модели встроенного ремонта логических элементов, входящих в комбинационную структуру функциональности в виде цифровой системы на кристалле [7-18]. 2) Создание операционного и управляющего автоматов для эмулирования или моделирования функциональности комбинационной схемы в кристалле PLD [1-6].

2. Модель комбинационной структуры

Одна из немногочисленных работ, посвященных восстановлению работоспособности логических схем, представлена в [9]. Здесь основная идея заключается в реконфигурации структуры логических элементов в режиме off-line, которая обеспечивает возможность замены каждого из неисправных примитивов. Далее предлагается в качестве примера для рассмотрения теории и практики встроенного ремонта функциональных нарушений логических элементов использовать описание простейшей схемной структуры (рис. 2).

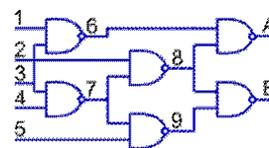


Рис. 2. Пример схемной структуры из неадресуемых элементов

Она содержит шесть однотипных логических элементов, которые можно представить в адресном пространстве следующим списком (двумерным массивом):

$$S = \begin{matrix} \text{No} = & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \\ \text{P} = & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \text{L}_1 = & 1 & 3 & 2 & 7 & 6 & 8 & X & X & X \\ \text{L}_2 = & 3 & 4 & 7 & 5 & 8 & 9 & X & X & X \\ \text{L}_3 = & 6 & 7 & 8 & 9 & A & B & Y & Y & Y \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{No} = & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & A & B \\ \text{M} = & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix} \quad \begin{matrix} X_1 & X_2 & Y \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix} \quad F(i) =$$

Каждый столбец соответствует логическому элементу схемы, а примитивы с номерами 7, 8,9 являются запасными, которые используются для замены любых трех из шести элементов при диагностировании в последних каких-либо функциональных нарушений. В строке Р указаны типы примитивов, ниже – номера входных и выходных переменных, вектор моделирования М содержит результат моделирования входного слова 11111 на схемной структуре, представленной рис. 3.

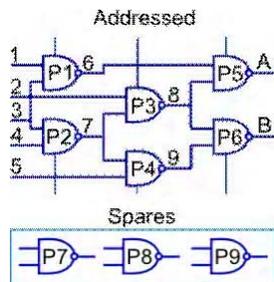


Рис. 3. Пример схемной структуры из адресуемых и запасных элементов

Процесс-модель формирования выходных значений схемы в зависимости от конкатенированных состояний входов, формирующих адрес ячейки состояния выхода, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Y_6 &= P_1(X_1 * X_3); \\ Y_7 &= P_2(X_3 * X_4); \\ Y_8 &= P_3(X_2 * X_7); \\ Y_9 &= P_4(X_7 * X_5); \\ Y_A &= P_5(X_6 * X_8); \\ Y_B &= P_6(X_8 * X_9). \end{aligned}$$

Учитывая, что все значения переменных сведены в один вектор состояния М, можно получить процесс-модель:

$$\begin{aligned} M_6 &= P_1(M_1 * M_3); \\ M_7 &= P_2(M_3 * M_4); \\ M_8 &= P_3(M_2 * M_7); \\ M_9 &= P_4(M_7 * M_5); \\ M_A &= P_5(M_6 * M_8); \\ M_B &= P_6(M_8 * M_9). \end{aligned}$$

Здесь \underline{M} – вектор состояния линий схемы; $F = M_1 \wedge M_j$ – логическая функция И-НЕ, имеющая два входа, реализованная в виде элемента памяти LUT. Поскольку все шесть примитивных элементов реализуют одну логическую функцию И-НЕ, то предыдущее выражение можно упростить:

$$\begin{aligned} M_6 &= F(M_1 * M_3); \\ M_7 &= F(M_3 * M_4); \\ M_8 &= F(M_2 * M_7); \\ M_9 &= F(M_7 * M_5); \\ M_A &= F(M_6 * M_8); \\ M_B &= F(M_8 * M_9). \end{aligned}$$

Имея в виду наличие двумерного массива линий связи (L) между входами и выходами логических элементов, предыдущее выражение можно свести к виду:

$$\begin{aligned} M_6 &= F[M(L_{11}) * M(L_{12})]; \\ M_7 &= F[M(L_{21}) * M(L_{22})]; \\ M_8 &= F[M(L_{31}) * M(L_{32})]; \\ M_9 &= F[M(L_{41}) * M(L_{42})]; \\ M_A &= F[M(L_{51}) * M(L_{52})]; \\ M_B &= F[M(L_{61}) * M(L_{62})]. \end{aligned}$$

Таким образом, можно синтезировать структуру для реализации процесс-модели схемы, имеющей двух-входные функциональные примитивы, в следующем виде: $M(L_{is_p}) = F[M(L_{ij}) * M(L_{ir})] = F[M(L)]$.

Учитывая факт, что все вычисления в схеме привязаны к структурным элементам, которые имеют идентификатор логической операции, предыдущую формулу можно трансформировать к виду:

$$M(L_{is_p}) = P_i[M(L_{ij}) * M(L_{ir})] = P[M(L)].$$

В общем случае структура модели функциональности, ориентированной на реализацию в кристалле PLD, содержит пять компонентов:

$$\begin{aligned} S &= \langle P, F, M, L, T \rangle, \\ P &= (P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n); \\ F &= (F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m); \\ M &= (M_1, M_2, \dots, M_r, \dots, M_k); \\ L &= [L_{pq}]; p = \overline{1, n}; q = \overline{1, s_p}; \\ T &= [T_{te}]; t = \overline{1, \eta}; e = \overline{1, \mu}; \\ M(L) &= P[M(L)]. \end{aligned}$$

Здесь представлены: 1) примитивы схемной структуры Р, определенные идентификаторами типа функциональности (номер или код команды); 2) типы функциональных элементов F – набор элементов памяти LUT, из которых реализуются примитивы, а также избыточные элементы для ремонта функциональностей; 3) вектор моделирования М (двоичный), определяющий состояния всех линий (входные, внутренние, выходные); 4) матрица эквивалентных линий связи L для объединения логических элементов в структуру; 5) матрица входных тестовых (рабочих) наборов Т. Обработка (processing) схемы в кристалле сводится к определению адреса, составленного двоичными битами вектора моделирования, по которому находится логическая функция. Каждый примитив имеет цикл обработки, содержащий три процедуры:

- 1) Адресное считывание номеров входных переменных из соответствующего столбца матрицы L для формирования адреса состояния входной переменной вектора моделирования: $A = L_{ij}$, $i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, s_p - 1}$.
- 2) Формирование адреса (двоичного кода) для вычисления логической функции путем конкатенации

соответствующих состояний входных переменных в векторе моделирования $A = M(L_{ij}) * M(L_{ir})$.

3) Запись результата выполнения логической функции как состояния выхода в соответствующий разряд вектора моделирования

$$M(L_{is_p}) = F[M(L_{ij}) * M(L_{ir})].$$

3. Операционное устройство для моделирования комбинационной структуры

Процесс обработки всех примитивов схемы в данном случае является строго последовательным, что представляет собой существенное замедление процедуры формирования состояний выходных переменных. Однако уменьшение быстродействия можно считать платой за сервис встроенного и автономного восстановления работоспособности цифровой структуры, который является одним из этапов функционирования инфраструктуры обслуживания SoC, представленной на рис. 4. Комбинационная схема становится операционным устройством, где присутствуют операционный и управляющий автоматы. Заменяемыми компонентами в операционном автомате являются типы примитивов – функциональные элементы (рис. 5).

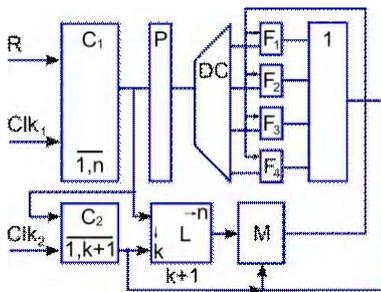


Рис. 4. Операционная структура комбинационной схемы

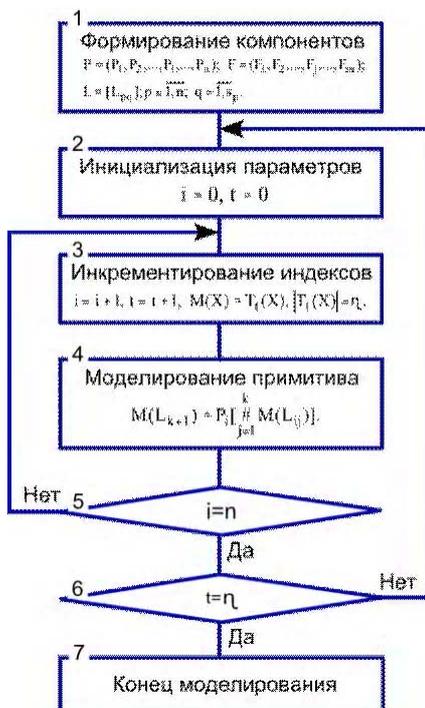


Рис. 5. Граф-схема алгоритма управления процессом моделирования

Операционное устройство реализации элементо-адресуемых комбинационных схем содержит: счетчик обработки текущего примитива C1; память для хранения типов примитивов, соответствующих структурным элементам P; счетчик считывания номеров входных и выходных переменных текущего примитива C2; дешифратор типов примитивов DC; память для хранения вектора моделирования M; матричную память для хранения номеров входов-выходов структурных примитивов L; линейку памяти, реализующих функциональные примитивы F; регистр формирования входного адресного слова для обрабатываемого примитива RG; логический элемент Og для коммутации результатов обработки функциональных примитивов.

Граф-схема алгоритма управления процессом моделирования структуры комбинационной схемы представлен на рис. 5.

1. Инициализация (формирование) всех компонентов (номера и типы элементов, линии связей для входов и выходов логических элементов) схемной структуры:

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n); F = (F_1, F_2, \dots, F_j, \dots, F_m);$$

$$L = [L_{pq}]; p = \overline{1, n}; q = \overline{1, s_p}.$$

2. Инициализация параметра обрабатываемого примитива и номера входного набора $i = 0, t = 0$ для его моделирования в двоичном алфавите $M_T = \{0,1\}$.

3. Инкрементирование индекса примитива, номера теста и инициализация входного тестового (рабочего) набора:

$$i = i + 1, t = t + 1, M(X) = T_t(X), |T_t(X)| = \eta.$$

4. Конкатенация (#) разрядов слова для формирования входного воздействия $\#_{j=1}^k M(L_{ij})$ логического

элемента P_i и выполнение процедуры определения состояния его выхода с последующей записью в соответствующую координату вектора моделирования:

$$M(L_{k+1}) : M(L_{k+1}) = P_i \left[\#_{j=1}^k M(L_{ij}) \right].$$

5. Повторение пунктов 3 и 4 в целях получения состояний выходов всех логических элементов до выполнения условия: $i = n$.

6. Повторение пунктов 2–4 в целях моделирования всех входных тестовых (рабочих) наборов, до выполнения равенства: $t = \eta$, где η – длина теста.

7. Окончание процесса моделирования цифрового устройства.

4. Заключение

Научная новизна. Предложенные операционный и управляющий автоматы моделирования цифровых комбинационных схем ориентированы на решение

двух практически ориентированных задач: 1) Встроенное восстановление работоспособности компонентов комбинационных логических схем путем увеличения времени обработки цифрового устройства и дополнительных аппаратных затрат для создания инфраструктуры моделирования адресных элементов. 2) Аппаратное моделирование функциональностей цифровых проектов на основе использования PLD, что дает возможность существенно повысить быстродействие верификации программных моделей.

Практическая значимость. Положительное решение задачи встроенного ремонта логических элементов комбинационных схем дает возможность удовлетворительно решить проблему автономного восстановления работоспособности цифровых систем на кристаллах за счет временной и аппаратной избыточности проекта.

Направления дальнейших научных исследований в данной области связаны с решением задач: 1) Модели коммутирования примитивов, вышедших из строя. 2) Распараллеливание вычислений по уровням элементов комбинационной схемы. 3) Замена как типов, так и примитивов структуры. 4) Создание операционного устройства или инфраструктуры для моделирования последовательных элементов и структур. 5) Моделирование схем, составленных из функционально сложных примитивов. 6) Разработка инфраструктуры встроенного тестирования, диагностирования и ремонта элементов комбинационных и последовательных устройств. 7) Тестирование и ремонт инфраструктуры сервисного обслуживания комбинационной схемы – решение проблемы «сторож над сторожем». 8) Эффективность использования инфраструктуры встроенного ремонта для сервисного обслуживания комбинационных цифровых систем с различным уровнем сложности примитивов и структуры.

Литература: 1. *Aliferis P., Brito F., DiVincenzo D. P., Preskill J., Steffen M., Terhal B. M.* Fault-tolerant computing with biased-noise superconducting qubits // *New Journal of Physics*. January 30. 2009. 19 p. 2. *Mark Gregory Whitney.* Practical Fault Tolerance for Quantum Circuits. PhD Dissertation in Computer Science. Berkeley: University of California. 2009. 206p. 3. *Хаханов В. И., Литвинова Е. И., Чумаченко С. В., Гузь О.А.* Логический ассоциативный вычислитель. Электронное моделирование. 2011. № 1. С. 73-90. 4. *Hahanov V., Wajeb Gharibi, Litvinova E., Chumachenko S.* Information analysis infrastructure for diagnosis. *Information. An international interdisciplinary journal*. 2011. Japan. Vol. 14, No 7. P. 2419-2433. 5. *Хаханов В.И.* Проектирование и тестирование цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. Харьков: ХНУРЭ, 2009. 484с. 6. *Hahanov V.I. and others.* Infrastructure of intellectual property for SoC simulation and diagnosis service. Springer, Germany, 2011. P. 289-330. 7. *Chung J., Park J., Abraham J. A.* Built-In Repair Analyzer With Optimal Repair Rate for Word-Oriented Memories // *IEEE Transaction on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 2012. Iss. 99. P. 1–11. 8. *Mincent Lee.* A Memory Built-In Self-Repair Scheme Based on Configurable Spares / Lee Mincent, Denq Li-Ming, Wu Cheng-Wen // *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*. Vol. 30, Iss. 6. 2011. P. 919 – 929. 9. *Koal T. A*

comprehensive scheme for logic self repair / T. Koal, D. Scheit, H.T. Vierhaus // *Conference Proc. on Signal Processing Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications*. 2009. P. 13 – 18. 10. *Rab M.T.* Improving Memory Repair by Selective Row Partitioning / M.T. Rab, A.A. Bawa, N.A. Touba // *IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI Systems*. 2009. P. 211 – 219. 11. *Pekmetzi K.* A BISR Architecture for Embedded Memories / K. Pekmetzi, N. Axelos, I. Sideris, N. Moshopoulos // *14th IEEE International On-Line Testing Symposium*. 2008. P. 149 – 154. 12. *Tsu-Wei Tseng.* ReBISR: A Reconfigurable Built-In Self-Repair Scheme for Random Access Memories in SOCs / Tsu-Wei Tseng; Jin-Fu Li; Chih-Chiang Hsu // *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*. Vol. 18, Iss. 6. 2010. P. 921 – 932. 13. *Sharma R.K.* Modeling and Simulation of Multi-operation Microcode-Based Built-In Self Test for Memory Fault Detection and Repair / R.K. Sharma, A. Sood // *IEEE Computer Society Annual Symposium on VLSI (ISVLSI)*. 2010. P. 381 – 386. 14. *Oehler P.* A Modular Memory BIST for Optimized Memory Repair / P. Oehler, A. Bosio; G. Di Natale, S. Hellebrand // *14th IEEE International On-Line Testing Symposium*. 2008. P. 171 – 172. 15. *Nicolaidis M.* Design for test and reliability in ultimate CMOS / Michael Nicolaidis, Lorena Anghel, Nacer-Eddine Zergainoh, Yervant Zorian, Tanay Kamik, Keith Bowman, James Tschanz, Shih-Lien Lu, Carlos Tokunaga, Arijit Raychowdhury, Muhammad Khellah, Jaydeep Kulkarni, Vivek De, Dimiter Avresky // *Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*. 2012. P. 677 – 682. 16. *Darbinyan K.* A Robust Solution for Embedded Memory Test and Repair / K. Darbinyan, G. Harutyunyan, S. Shoukourian, V. Vardanian, Y. Zorian // *20th Asian Test Symposium (ATS)*. 2011. P. 461–462. 17. *Grigoryan H.* Generic BIST architecture for testing of content addressable memories / H. Grigoryan, G. Harutyunyan, S. Shoukourian, V. Vardanian, Y. Zorian // *IEEE 17th International On-Line Testing Symposium (IOLTS)*. 2011. P. 86 – 91. 18. *Zorian Y.* Test and reliability concerns for 3D-ICs / Y. Zorian // *IEEE 16th International On-Line Testing Symposium (IOLTS)*. 2010. P. 219 – 219.

Поступила в редколлегию 22.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Баркалов А.А.

Murad Ali Abbas, аспирант кафедры автоматизации проектирования вычислительной техники ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ ХНУРЭ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: техническая диагностика цифровых систем, сетей и программных продуктов. Увлечения: баскетбол, футбол, горные лыжи. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua.

Литвинова Евгения Ивановна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: автоматизация диагностирования и встроенный ремонт компонентов цифровых систем в пакете кристаллов. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-421. E-mail: kiu@kture.kharkov.ua.

Хаханова Ирина Витальевна, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем и сетей на кристаллах. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326.



СИНТЕЗ НЕЙРО-НЕЧЁТКИХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЬЕВ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПО ПРИЗНАКАМ

ГОФМАН Е.А., СУББОТИН С.А., ОЛЕЙНИК А.А.

Рассматривается решение задачи построения нейро-нечётких сетей с использованием деревьев решений. Разрабатывается метод их синтеза, который формирует нечёткое разбиение признакового пространства и выделяет правила, на основе которых формируется структура сети и определяются значения её параметров. Это позволяет синтезировать модели с небольшим числом нейроэлементов, обладающие высоким уровнем обобщения, и не требует решения задач оптимизации для настройки значений параметров модели.

Введение

Разработка автоматизированных систем для технического и медицинского диагностирования, принятия решений, распознавания образов связана с необходимостью построения моделей исследуемых объектов и процессов [1]. В качестве распознающих моделей эффективно могут применяться нейро-нечёткие сети (ННС). ННС представляет собой систему нечёткого вывода в виде нейронной сети, удобной для обучения, пополнения знаний, анализа и использования [2–4].

Однако построение ННС связано со следующими проблемами [2–6]:

– синтез ННС на основе обучающей выборки путём отображения её экземпляров как правил в структуру сети приводит к построению громоздкой и сложной модели, практически не обладающей свойством обобщения. Сложность синтезированной сети из-за большого числа структурных элементов (нейронов) и их параметров вызывает необходимость использования значительного объема памяти, а также приводит к увеличению затрат времени работы сети при последовательной реализации вычислений на ЭВМ. Повышение обобщающих свойств ННС может быть достигнуто с помощью кластерного анализа, использование которого, однако, связано с проблемами выбора количества кластеров и их границ;

– необходимость выделения нечётких термов при синтезе ННС требует либо участия пользователя, что понижает уровень автоматизации разрабатываемой информационной технологии, либо решения задачи

кластерного анализа, когда термы определяются как проекции границ кластеров на оси признаков;

– не все из исходных признаков могут быть информативными, что влечёт избыточность, снижает обобщение и усложняет синтезируемую ННС;

– ННС, как правило, обучаются с помощью градиентных методов, которые являются методами локальной оптимизации и характеризуются высокой итеративностью, а также неопределенностью выбора начальной точки поиска.

В настоящей работе предлагается для синтеза ННС использовать деревья решений (ДР), представляющие собой один из методов анализа данных, который задает способ представления правил вида «Если – то» в иерархической последовательной структуре, где каждому объекту соответствует единственный узел с решением [4, 7–10]. Целесообразность применения ДР для синтеза ННС обуславливается следующими причинами:

– в процессе построения ДР выявляется набор информативных признаков (косвенно решается задача отбора информативных признаков), что позволяет строить более простые модели. Кроме того, признаки ранжируются по степени их важности;

– ДР может быть преобразовано в набор продукционных правил, число которых за счёт обобщения может быть меньшим, чем число экземпляров, что также понижает громоздкость и сложность синтезируемой модели. Повысить обобщение дополнительно возможно с помощью процедур усечения ДР;

– проверки в ДР могут быть использованы для определения числа термов по каждой переменной и параметров интервалов чёткого разбиения. Значения найденных границ интервалов (на основе узлов ДР) при отображении правил ДР в ННС позволяют осуществить не только структурную идентификацию, но и задать начальную точку поиска для градиентных методов, которая будет близка к оптимальной;

– ДР может быть также использовано для построения иерархических сетей.

Целью данного исследования является разработка метода синтеза нейро-нечётких сетей на основе деревьев решений.

Постановка задачи

Пусть задана обучающая выборка $\langle X, Y \rangle$, где $X = \{X_i\}$ – набор значений признаков, характеризующих рассматриваемый объект или процесс; $Y = \{y_p\}$ – массив значений выходного параметра в заданной выборке; $X_i = \{x_{ip}\}$ – i -й признак в выборке, $i = 1, 2, \dots, L$; $x_{ip} \in [x_{\min i}; x_{\max i}]$ – значение i -го признака для p -го экземпляра выборки, $p = 1, 2, \dots, m$; $x_{\min i}$ и $x_{\max i}$ – минимальное и максимальное значения i -го признака, соответственно; $y_p \in D_Y$ – значение прогнозируемого параметра для p -го экземпляра;

$D_Y = \{y^{(t)}\}$ – множество значений выходного параметра, $t=1,2,\dots,N_Y$; L – общее число признаков в исходном наборе; m – число экземпляров выборки; $N_Y = |D_Y|$ – число значений выходного параметра Y в множестве D_Y .

Тогда задача синтеза распознающей модели на основе ННС заключается в идентификации таких структуры ННС и значений её параметров, для которых достигается минимум заданного значения критерия оптимальности $\xi(\text{ННС}, X, Y) \rightarrow \min$, где $\xi(\text{ННС}, X, Y)$ – критерий, определяющий эффективность использования ННС для аппроксимации зависимости между набором входных параметров X и соответствующим ему вектором значений выходного параметра Y .

Как правило, в качестве критерия оптимальности ННС используется среднеквадратическая ошибка:

$$\varepsilon = \sum_{p=1}^m (y_p - u(\text{ННС}, X_p))^2,$$

где X_p – набор значений признаков для p -го экземпляра; $u(\text{ННС}, X_p)$ – значение выхода ННС, вычисленное для набора значений X_p .

Метод синтеза нейро-нечётких сетей на основе деревьев решений

В разработанном методе построения ННС предлагается использовать ДР, синтезированное на основе заданной выборки данных, для извлечения продукционных правил вида «Если – то», вычисления параметров функций принадлежности, задания структуры и настройки параметров нейроэлементов ННС. Синтез ННС предлагается выполнять в виде такой последовательности этапов.

Этап 1. Построение базы правил типа «Если – то». На данном этапе по обучающей выборке $\langle X, Y \rangle$ с помощью методов синтеза ДР [4, 5, 7, 11, 12] выполняется построение дерева решений $DT = \{d_k\}$, где $d_k = \langle cd_k, ld_k, rd_k \rangle$ – k -й узел дерева DT , представляющий собой структуру, в которой cd_k – функция принятия решений (условие типа $x_i \in A_{ij}$) на основе значений входных переменных (в случае, если узел является внутренним) или значение выходной переменной (для внешних узлов); ld_k и rd_k – ссылки на левого и правого потомков k -го узла, соответственно, представляющих собой структуры, аналогичные d_k ; $A_{ij} = [l_{ij}; r_{ij}]$ – интервал значений признака x_i в условии cd_k , ограничивающийся значениями l_{ij} и r_{ij} .

Для построения набора правил R путем извлечения правил из ДР выполняется прямой обход дерева: от корня дерева к каждому узлу. При этом для корня дерева как первого узла-родителя вызывается рекурсивно процедура обхода левого и правого поддеревьев.

В процессе обхода дерева DT при каждом посещении нового узла d_k происходит модификация текущего антецедента Antecedent_j правила R_j путем добавления условия cd_k , находящегося в узле d_k :

$$\text{Antecedent}_j = \text{Antecedent}_j \cap cd_k.$$

В случае, когда в условии cd_k значение некоторого признака X_i выходит за пределы диапазона его возможных значений $[x_{\min i}; x_{\max i}]$, выполняется корректировка левой l_{ij} и правой r_{ij} границ значений признака X_i в условии cd_k :

$$l_{ij} = x_{\min i}, \text{ если } l_{ij} < x_{\min i};$$

$$r_{ij} = x_{\max i}, \text{ если } r_{ij} > x_{\max i}.$$

Когда узел d_k оказывается листом (ссылки на левого и правого потомков являются пустыми), выполняется пополнение базы правил R новым правилом R_j . При этом в качестве антецедента принимается Antecedent_j , а в качестве консеквента – значение cd_k листа дерева:

Правило R_j : Если Antecedent_j , то cd_k .

После достижения листа и формирования правила R_j выполняется возврат к узлу d' дерева решений, из которого еще выполнены не все возможные проходы. При этом из текущего антецедента удаляются условия cd_k , соответствующие узлам, расположенным от листа d_k к узлу d' :

$$\text{Antecedent}_{j+1} = \text{Antecedent}_j / cd_k.$$

Обход дерева выполняется до тех пор, пока не будут пройдены все его листья (каждый узел дерева посещается до тех пор, пока не посещены все его потомки).

Таким образом, в результате выполнения первого этапа предлагаемого метода выполняется формирование базы правил R типа «Если – то», где каждое j -е правило формируется на основе условий (проверок) типа $x_i \in A_{ij}$, относящихся к ветвям ДР, расположенным на пути от корня к j -му листу:

$$\text{Правило 1: Если } \bigcap_{i=1}^L x_i \in A_{i1}, \text{ то } y = y_1;$$

$$\text{Правило 2: Если } \bigcap_{i=1}^L x_i \in A_{i2}, \text{ то } y = y_2;$$

.....

$$\text{Правило } m: \text{ Если } \bigcap_{i=1}^L x_i \in A_{im}, \text{ то } y = y_m,$$

где A_{ij} – интервал (множество) значений признака X_i , при которых выполняется j -е правило.

Этап 2. Синтез блоков первого слоя ННС, определяющих принадлежность распознаваемого экземпляра к

термам признаков. Для этого вычисляются левая l_{ij} и правая r_{ij} границы диапазонов значений каждого признака X_i в правиле R_j .

Далее для каждого i -го признака X_i определяется число интервалов разбиения диапазона его значений N_i по всему множеству правил R .

Затем задаются функции принадлежности распознаваемого экземпляра к каждому из термов. При этом используются границы чётких интервалов $\Delta_{ij} = [l_{ij}; r_{ij})$, найденные ранее.

В качестве функций принадлежности целесообразно использовать такие, которые позволяют ограничивать интервал значений признаков:

– трапециевидную функцию:

$$\mu_{ik} = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i < a_{ik}; \\ \frac{x_i - a_{ik}}{l_{ik} - a_{ik}}, & \text{если } a_{ik} \leq x_i < l_{ik}; \\ 1, & \text{если } l_{ik} \leq x_i \leq r_{ik}; \\ \frac{b_{ik} - x_i}{b_{ik} - r_{ik}}, & \text{если } r_{ik} < x_i \leq b_{ik}; \\ 0, & \text{если } x_i > b_{ik}, \end{cases}$$

где значения a_{ik} , b_{ik} , r_{i0} , l_{iN_i+1} определяются по формулам:

$$a_{ik} = \frac{3r_{ik-1} + l_{ik}}{4}, \quad b_{ik} = \frac{r_{ik} + 3l_{ik+1}}{4}, \quad r_{i0} = l_{i1} - 2, \\ l_{iN_i+1} = l_{iN_i} + 2;$$

– П-образную функцию:

$$\mu_{ik} = \mu_{S_{ik}} \cdot \mu_{Z_{ik}},$$

здесь $\mu_{S_{ik}}$ и $\mu_{Z_{ik}}$ – S-образная и Z-образная функции принадлежности, соответственно:

$$\mu_{S_{ik}} = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i < l_{ik}; \\ \frac{x_i - l_{ik}}{r_{ik} - l_{ik}}, & \text{если } l_{ik} \leq x_i \leq r_{ik}; \\ 1, & \text{если } x_i > r_{ik}, \end{cases} \\ \mu_{Z_{ik}} = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i < l_{ik}; \\ \frac{r_{ik} - x_i}{r_{ik} - l_{ik}}, & \text{если } l_{ik} \leq x_i \leq r_{ik}; \\ 0, & \text{если } x_i > r_{ik}. \end{cases}$$

Этап 3. Построение второго слоя ННС, состоящего из нейронов, реализующих строки-конъюнкции antecedентов правил нечёткой базы знаний. Выходы каждого нейрона этого слоя определяют степени выполнения условий правил для распознаваемого экземпляра.

При вычислении степеней выполнения antecedентов правил целесообразно учитывать достоверность (вес, надёжность, уверенность) каждого правила. Поэтому при расчёте выходов нейронов второго слоя предлагается использовать также коэффициент уверенности каждого правила, что позволит усилить вклад более надёжных правил в решение.

Для вычисления коэффициента уверенности γ_j j -го правила предлагается по всей выборке $\langle X, Y \rangle$ найти число экземпляров n_j , для которых сработало j -е правило, а также определить $n_{\text{ош } j}$ – число ошибочных решений при использовании данного правила.

Коэффициент уверенности j -го правила γ_j будем рассчитывать по формуле:

$$\gamma_j = \alpha_j P_{\text{прав } j},$$

где $\alpha_j = \frac{n_j}{m}$ – вероятность срабатывания j -го правила;

$P_{\text{прав } j} = 1 - P_{\text{ош } j} = 1 - \frac{n_{\text{ош } j}}{n_j}$ – вероятность правильных решений при использовании j -го правила.

Тогда степень соответствия выполнения antecedента j -го правила для распознаваемого экземпляра может быть рассчитана следующим образом:

$$\mu_{A_j} = \alpha_j \min \{ \max \{ w_{ik}^{(2j)}; \mu_{ik} \} \},$$

где μ_{A_j} – степень выполнения antecedента j -го правила для распознаваемого экземпляра; $w_{ik}^{(2j)}$ – веса нейронов второго слоя, определяющие наличие связи от нейронов первого слоя ко второму и отражающие наличие k -го термина i -го признака в antecedенте j -го правила. Веса $w_{ik}^{(2j)}$ определяются по синтезированному ДР следующим образом: $w_{ik}^{(2j)} = 0$, если на пути от корня ДР к j -му листу имеется условие, при котором i -й признак попадает в k -й интервал диапазона его разбиения (k -й терм i -го признака присутствует в описании условий j -го правила), в противном случае: $w_{ik}^{(2j)} = 1$.

Этап 4. Определение параметров нейронов третьего слоя ННС, которые вычисляют степени принадлежности входного вектора к соответствующим термам выходной переменной, используя формулу:

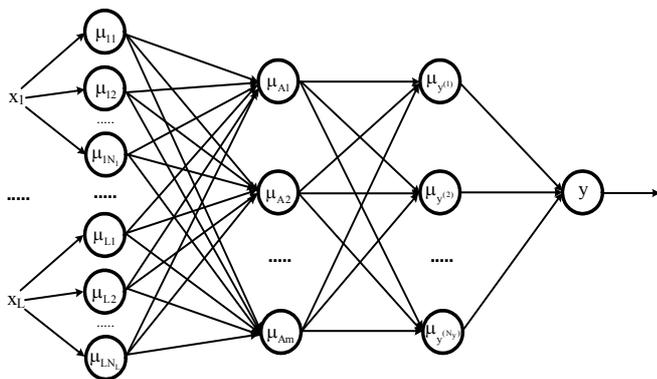
$$\mu_{y^{(t)}} = \min \{ \max \{ w_j^{(3t)}; \mu_{A_j} \} \},$$

где $\mu_{y^{(t)}}$ – степень принадлежности входного вектора к t -му терму выходной переменной y ; $w_j^{(3t)}$ – веса нейронов третьего слоя, определяющие наличие связи от нейронов второго слоя к третьему и отражающие соответствие t -го термина выходного параметра j -му правилу нечёткой базы знаний. Веса $w_j^{(3t)}$ определяются по синтезированному ДР: $w_j^{(3t)} = 0$, если значение j -го листа ДР равно t -му значению выходного параметра $y^{(t)}$ из множества его значений D_Y , в противном случае: $w_j^{(3t)} = 1$.

Этап 5. Дефаззификация. Приведение результата в чёткую форму осуществляется с помощью нейрона четвертого слоя ННС, выход которого может быть вычислен с помощью центроидного метода [4] по формуле:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^m y_j \mu_{y^{(j)}}}{\sum_{j=1}^m \mu_{y^{(j)}}}.$$

Схема ННС, построенной с помощью предложенного метода, приведена на рисунке.



Структура ННС, построенной с помощью предложенного метода

Предложенный метод построения ННС на основе ДР был программно реализован в компьютерной программе “Автоматизированная система синтеза деревьев решений на основе интеллектуальных вычислений для неразрушающего диагностирования и классификации” на языке программирования C#.

С помощью разработанного метода и программного обеспечения решалась практическая задача диагностирования кузовов автотранспортных средств [11]. Экспериментальные исследования проводились на основе выборки данных, которая формировалась по результатам измерений для 172 кузовов автомобилей, изготавливаемых на предприятии ЗАО “ЗА3”. Каждый кузов характеризовался 1400 контрольными точками, из которых в [12] было выделено 17 наиболее существенных для определения качества кузова. Выявлено, что к ним относятся точки, расположенные в области порога, а также точки, определяющие местоположение крепления дверных петель. На основании геометрических параметров существенных точек получены 48 входных признаков.

Таким образом, для синтеза ННС была сформирована выборка из 172 экземпляров, каждый из которых описывался 48 признаками. Выходной параметр принимал два значения: “0” – кузов необходимо доработать, “1” – кузов считается пригодным к эксплуатации.

В процессе экспериментального исследования проводилось сравнение следующих методов синтеза ННС:

1) метод, при использовании которого выборка данных отображается непосредственно в правила (каждый экземпляр выборки преобразовывается в одно правило базы правил), таким образом формируя струк-

туры сети. Настройка параметров нейроэлементов осуществляется с помощью метода обратного распространения ошибки [4];

2) метод, предусматривающий кластеризацию выборки. При использовании такого подхода на основании найденных центров кластеров формируются правила, которые отображаются в структуру ННС. Параметры блоков ННС настраиваются с помощью метода обратного распространения ошибки [4];

3) предложенный метод синтеза ННС на основе деревьев решений.

Результаты экспериментов показали, что сравниваемые методы характеризовались следующими ошибками: 3,1; 1,7 и 1,4%, соответственно.

Важно отметить, что ННС, синтезированная на основе предложенного метода, характеризовалась меньшим числом нейроэлементов, что обеспечивается благодаря использованию деревьев решений, обобщающих в виде базы правил информацию, которая содержится в выборке исходных данных. Время построения ННС и время вычисления выходного параметра по синтезированной сети во втором и третьем методах существенно меньше, чем в первом, что объясняется меньшим числом нейроэлементов.

Таким образом, предложенный метод синтеза ННС на основе деревьев решений позволяет строить модели с относительно небольшим числом нейроэлементов, обладающие высоким уровнем обобщения. В отличие от градиентных методов настройки параметров сети, предложенный метод не является высокоитеративным, не относится к методам локальной оптимизации и не связан с проблемой неопределенности выбора начальной точки поиска.

Выводы

Решена актуальная задача автоматизации построения диагностических и распознающих моделей на основе нейро-нечётких сетей.

Научная новизна работы заключается в том, что предложен новый метод синтеза нейро-нечётких сетей на основе деревьев решений, который для построенного по обучающей выборке ДР автоматически формирует нечёткое разбиение признакового пространства и выделяет правила, на основе которых формирует структуру сети и определяет значения её параметров. Это позволяет синтезировать модели с небольшим числом нейроэлементов, обладающие высоким уровнем обобщения, и не требует решения задач оптимизации для настройки значений параметров модели.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что на основе предложенного метода разработано программное обеспечение, позволяющее синтезировать нейро-нечёткие сети, а также решена практическая задача диагностирования автотранспортных средств.

Литература: 1. *Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей* / А. В. Богуслаев, Ал. А. Олейник, Ан. А. Олейник, Д. В. Павленко, С. А. Субботин; под ред. Д. В. Павленко, С. А. Субботина. Запорожье: ОАО "Мотор Сич", 2009. 468 с. 2. *Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах* / В. А. Филатов, Е. В. Бодянский, В. Е. Кучеренко и др.; под общ. ред. Е. В. Бодянского. Днепропетровск: Системні технології, 2008. 403 с. 3. *Nauck D. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems* / D. Nauck, F. Klawonn, R. Kruse. Chichester: John Wiley & Sons, 1997. 305 p. 4. *Субботин С. О.* Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С. О. Субботин. Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. 341 с. 5. *Encyclopedia of artificial intelligence* / Eds.: J. R. Dopico, J. D. de la Calle, A. P. Sierra. New York: Information Science Reference, 2009. Vol. 1–3. 1677 p. 6. *Субботин С. О.* Нейтеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей / С. О. Субботин, А. О. Олійник, О. О. Олійник; під заг. ред. С. О. Субботина. Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. 375 с. 7. *Rokach L. Data mining with decision trees. theory and applications* / L. Rokach, O. Maimon. London: World Scientific Publishing Co, 2008. 264 p. 8. *Люгер Дж. Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж. Ф. Люгер. М.: Вильямс, 2005. 864 с. 9. *Quinlan J. R. Induction of decision trees* / J. R. Quinlan // *Machine Learning*. 1986. № 1. P. 81–106. 10. *A comparison of decision tree ensemble creation techniques* / R. Banfield, L. O. Hall, K. W. Bowyer, W. P. Kegelmeyer // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2007. № 29 (1). P. 173–180. 11. *Гофман Е. А.* Использование деревьев решений для диагностирования автотранспортных средств / Е. А. Гофман, А. А. Олейник, С. А. Субботин // *Информационные управляющие системы и компью-*

терный мониторинг: II Международная научно-техническая конференция ИУС и КМ-2011, 11–13 апреля 2011 г.: материалы конференции. Донецк, 2011Т. 1. С. 159–163. 12. *Гофман Е. А.* Эволюционный метод синтеза деревьев решений / Е. А. Гофман, А. А. Олейник, С. А. Субботин // *Штучний інтелект*. 2011. № 2. С. 6–14.

Поступила в редколлегию 18.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гоменюк С. И.

Гофман Евгений Александрович, аспирант кафедры программных средств Запорожского национального технического университета. Научные интересы: методы индуктивного обучения, деревья решений. Адрес: Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64, тел.: (061) 769-82-67, e-mail: gofman_jenek@rambler.ru.

Субботин Сергей Александрович, канд. техн. наук, лауреат премии Президента Украины, лауреат Премии Верховной Рады Украины в области фундаментальных и прикладных исследований и научно-технических разработок, докторант Запорожского национального технического университета. Научные интересы: нейронные сети, нечёткая логика, интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Адрес: Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64, тел. (061) 769-82-67, e-mail: subbotin@zntu.edu.ua.

Олейник Андрей Александрович, канд. техн. наук, лауреат Премии Верховной Рады Украины в области фундаментальных и прикладных исследований и научно-технических разработок, доцент кафедры программных средств Запорожского национального технического университета. Научные интересы: интеллектуальные системы поддержки принятия решений. Адрес: Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64, тел. (061) 769-82-67, e-mail: olejnikaa@gmail.com

УДК004.93'1;004.932

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВАРИАНТНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕКСТУР

ПАНЧЕНКО И.А., ПУТЯТИН Е.П.

Инвариантная процедура обнаружения текстур на изображениях предполагает идентичный процесс обработки параметров каждого пиксела. Среди таких процедур наиболее простыми являются те, которые применяются при статистической обработке. Рассматривается один из возможных вариантов инвариантной идентификации текстур на основании сравнения гистограмм распределения яркости при измерении размеров окна анализа.

Введение

Анализ текстур является одним из наиболее важных элементов процесса обработки изображений. Изучение методов анализа текстур проводится уже длительное время. Однако методы, позволяющие достичь высокой достоверности распознавания, как правило, не предусматривают изменений поворота или масштаба. Но, опираясь на имеющийся опыт, можно утверждать, что инвариантность процедуры распознавания текстур является одним из наиболее важных факторов ее эффективности.

Наиболее эффективные методы обработки, как правило, предполагают весьма громоздкую процедуру вычислений, что существенно ограничивает область их применения [1,2]. Таким образом, задача поиска методик распознавания текстур требует дальнейшего внимания. Наиболее актуальным является разработка и исследование алгоритмов выделения признаков текстур, которые не только бы эффективно их описывали, но были бы инвариантными к поворотам и изменениям масштаба [3].

Целью данной работы является представление методики выделения текстур на основании сравнения гистограмм распределения яркости при измерении размеров окна анализа.

1. Исходные предположения

При создании методик идентификации текстур необходимо учитывать ряд критериев. Во-первых, инвариантность повороту, масштабу и яркости участка текстуры. Во-вторых, алгоритм идентификации должен быть строго формализован. В-третьих, он должен реализовываться минимальной вычислительной процедурой. И, наконец, он должен иметь возможность выделения наиболее информативных выходных параметров.

В данном случае в качестве исходного предположения используется определенное ранее свойство текстур, а именно – текстурой является участок изображения $(\Delta x, \Delta y)$, который при применении к нему некоторого оператора L приводит к следующему: при увеличении окна анализа (ОА) $\Delta x, \Delta y \rightarrow \infty$ результирующий вектор $u = L(\Delta x, \Delta y)$ стремится к постоянной величине, или $L(\Delta x, \Delta y) \rightarrow \text{const}$. Данное определение предполагает инвариантность подхода относительно поворота и масштаба текстуры. Однако оно не указывает механизма реализации. Тем не менее, можно определенно сказать, что разрабатываемая процедура должна включать изменение размеров окна анализа.

Инвариантность процедуры обнаружения предполагает идентичность обработки параметров каждого пиксела. Такими свойствами обладают процедуры статистической обработки данных, которые широко применяют при обработке изображений [1-3]. Тем не менее, отсутствие процедур, удовлетворяющих всем практическим нуждам, указывает на необходимость дальнейшей разработки статистических методов. Заметим, что методы Лавса, Фурье и ряд других, использованные в алгоритмах с передвижением ОА на один пиксел, также приводят в итоге к идентичной обработке, но вычислительная процедура получается весьма громоздкой.

Следующие требования менее жесткие, они обусловлены лишь требованиями реализации. В частности, обеспечить минимальность вычислительной процедуры можно при отсутствии повторений в обработке. Таким образом, если большее ОА включает часть меньшего, то параметры уже обработанного участка должны непосредственно войти в общий результат. Таким свойством обладают лишь аддитивные процедуры.

Выходные параметры алгоритма идентификации должны быть информативными и их число должно быть ограниченным, в противном случае процедура принятия решения может быть не эффективной. Такими свойствами обладают ряды интегральных параметров, информативность которых убывает при увеличении номера члена ряда. Это позволяет в алгоритме, реализующем процедуру принятия решения, оперативно минимизировать их число. Такими интегральными параметрами могут быть моменты статистического распределения или коэффициенты ряда Фурье. Но центрированные моменты высших порядков не обладают аддитивностью и содержат меньше информации об исходном объекте. Преобразование Фурье не приводит к потере информации, ряд Фурье позволяет восстановить исходную функцию, поэтому преобразование Фурье в данном случае предпочтительнее.

Интегрированные выходные параметры, полученные линейными преобразованиями, позволяют решить еще одну весьма важную задачу. Текстура на объекте может иметь различную освещенность. Фурье-преобразование информационных параметров приведет в

этом случае к изменению величины коэффициентов, но сохранит пропорции между ними. Последующее использование в алгоритме процедуры определения соотношений коэффициентов ряда Фурье позволит получить инвариантность еще к одному параметру – к яркости. Однако для выполнения этого условия алгоритм не должен включать нелинейных процедур.

Перечисленный набор требований и условий позволяет составить формальную процедуру обработки изображения для идентификации участков, занятых текстурами.

Заметим также, что алгоритму выделения текстуры может предшествовать сегментация и оконтуривание изображения.

2. Условия и основные соотношения

Полную характеристику каждого пиксела изображения дает спектральное распределение яркости. Однако такими возможностями обладают лишь специальные средства формирования изображений. Большинство обычных технических средств подают на выход либо один интегральный сигнал яркости, либо три сигнала, соответствующих каждому из основных цветов.

Исходным для формирования алгоритма является отмеченное выше предположение, что закон распределения яркости по участкам, занятым текстурой, остается постоянным. Тогда оператором $L(\Delta x, \Delta y)$ является процедура вычисления гистограммы распределения яркости в ОА. Гистограмма, как некоторая функциональная зависимость, сохраняет в себе достаточно много информации об изображении.

Гистограмма распределения яркости в ОА определяется с помощью обычной процедуры:

$$P_{mn}(k) = \frac{1}{MN} \sum_{m'n' \in D} \{b(m'n') = b(k)\}, \quad b = 0..255, \quad (1)$$

где M, N – размеры текущего ОА; $b(m'n')$ – пиксел, яркость которого равна $b(k)$.

В качестве примера рассмотрим известное изображение сидящего тигра на фоне травы. Исходное изображение цветное. На нем трава ярко-зеленая, шкура тигра желтая с черными полосами, участок возле уха – белый (рис. 1).

Учитывая черно-белый формат большинства печатных изданий, представим здесь алгоритм выделения текстуры только на основе анализа яркостных распределений на различных участках изображения. В этом случае сравнение исходного изображения и результатов обработки будет наглядным. Переход к обработке цветных изображений осуществляется использованием полученного алгоритма для каждого из основных цветов.

На данном изображении можно выбрать четыре характерных участка. Первый – с изображением травы. Текстуру этого участка можно отнести к случайным

[4]. Второй – на стыке травы и шкуры тигра. Здесь соединяются две разные текстуры: случайная текстура травы и нестрогая периодическая текстура шкуры. Оба объекта естественного происхождения. Третий – в области шкуры. Четвертый – в области уха. Последний участок не является текстурой в узком смысле этого слова [4]. В качестве окон анализа выбраны квадраты размерами 15x15, 25x25, 35x35 и 50x50 пикселей. Заметим, что выбор этих участков в определенной степени соответствует процедуре предварительной сегментации. Положение окон анализа также показано на рис. 1.

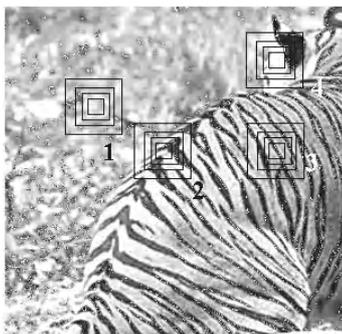


Рис. 1. К построению алгоритма определения текстур

Исходные суммы равноярких пикселей текстуры шкуры тигра (участок 2) показаны на рис. 2.

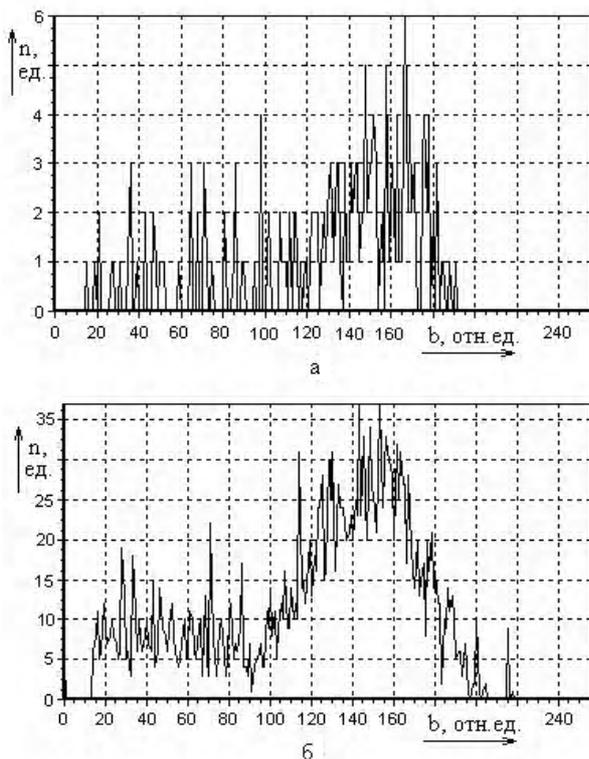


Рис. 2. Исходные суммы текстуры «шкура» при окне анализа: а – 15x15; б – 50x50

На этих гистограммах присутствует шум, обусловленный дискретностью преобразования яркостного сигнала. Этот шум особенно заметен в высокочастотной области. Для его подавления необходим фильтр

Фурье. Таким образом, Фурье – разложение в данном алгоритме можно быть использовано как для фильтрации, так и для идентификации текстуры. Это еще раз указывает на рациональность выбора коэффициентов ряда Фурье для создания эффективной процедуры распознавания.

Одномерное преобразование Фурье имеет вид:

$$F_j = \int_{-\infty}^{\infty} P_{mn}(i) e^{-j(\xi x)} dx, \quad (2)$$

где ξ – пространственные частоты $b(x, y)$ функции яркости.

Критерием совпадения является идентичность коэффициентов разложения. При этом вероятность обнаружения текстуры определяется степенью совпадения численных значений коэффициентов с одинаковыми порядковыми номерами. Объем статьи не позволяет осветить вопрос численного определения вероятностей «обнаружения текстуры» или «пропуска текстуры» [4], которому при разработке критериев было уделено внимание. Поэтому здесь ограничимся только описанием алгоритма и представлением некоторых, на наш взгляд, наиболее наглядных результатов численного эксперимента.

3. Описание алгоритма

Обнаружение текстуры является сложным процессом, и алгоритм может включать большое число основных и вспомогательных операций, например предварительную фильтрацию, выбор пути перемещения ОА и прочее.

К предварительным операциям относится перевод цветного изображения в градации серого. Он производится с помощью выражения

$$\text{Grey} = 0,3 \cdot V_r + 0,59 \cdot V_g + 0,11 \cdot V_b.$$

Последующие операции необходимы для данной методики.

Основная часть алгоритма на выбранном участке изображения содержит следующие шаги:

Шаг 1. Выбор размера окна анализа.

Шаг 2. Вычисление сумм равноярких пикселей и построение исходных гистограмм, согласно (1).

Шаг 3. Вычисление коэффициентов ряда Фурье с помощью дискретного преобразования Фурье.

Шаг 4. Восстановление фильтрованной гистограммы с помощью обратного преобразования Фурье по ограниченному числу коэффициентов ряда.

Шаг 5. Возвращение к выбору следующего окна анализа.

Шаг 6. Построение таблицы коэффициентов рядов Фурье и фильтрованных гистограмм.

Шаг 7. Сравнение значений коэффициентов и формы гистограмм.

4. Результаты численного эксперимента

Для наглядного представления работы алгоритма покажем часть результатов расчетов после нескольких этапов.

В табл. 1 представлены действительные части первых тридцати коэффициентов Фурье-разложения для участка «травы» при выбранных размерах окон анализа (15x15, 25x25, 35x35 и 50x50 пикселей).

Таблица 1

N_{Φ}	15x15	25x25	35x35	50x50
1	0,871	0,921	0,943	1
2	-0,377	-0,378	-0,282	-0,250
3	-0,447	-0,528	-0,623	-0,709
4	0,601	0,689	0,550	0,518
5	-0,104	-0,102	0,083	0,195
6	-0,254	-0,375	-0,375	-0,394
7	0,143	0,291	0,135	0,061
8	0,067	0,026	0,134	0,153
9	-0,079	-0,155	-0,089	-0,060
10	0,003	0,077	-0,031	-0,022
11	0,040	0,015	0,031	0,012
12	-0,096	-0,053	0,009	-0,010
13	0,121	0,056	-0,017	0,001
14	-0,006	-0,007	-0,018	0,009
15	-0,145	-0,053	0,027	0,001
16	0,120	0,032	0,009	-0,020
17	0,025	0,030	-0,022	-0,002
18	-0,058	-0,015	0,034	0,038
19	-0,029	-0,046	-0,008	-0,012
20	0,036	0,030	-0,049	-0,036
21	0,055	0,040	0,026	0,029
22	-0,067	-0,050	0,028	0,018
23	-0,021	-0,006	-0,027	-0,033
24	0,041	0,032	-0,012	-0,001
25	0,035	0	0,034	0,031
26	-0,049	-0,021	-0,004	-0,013
27	-0,036	-0,000	-0,036	-0,016
28	0,070	0,015	0,019	0,022
29	-0,003	-0,002	0,027	-0,000
30	-0,039	0,004	0	-0,018

В табл. 2 представлены аналогичные результаты для участка «ухо».

Аналогичные результаты получены и для мнимых частей коэффициентов разложения.

Как видно из этих таблиц, различие значений для участка «ухо» начинается уже на 2...3 гармонике, в то время как для участка «травы» подобие сохраняется до 8...9-й. Совпадение дальнейших коэффициентов можно отнести к случайным. Тем не менее, чтобы наглядно показать как регулярную, так и случайную составляющую, построение восстановленных гистограмм (4-й шаг алгоритма) производится по первым 30-ти коэффициентам ряда.

На рис.3 показаны фильтрованные гистограммы, составленные для участка «травы».

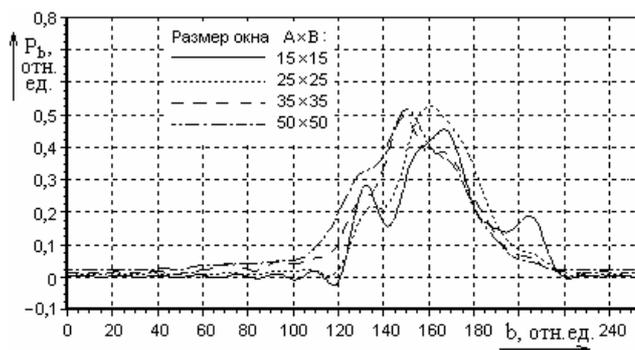


Рис. 3. Восстановленные гистограммы текстуры «травы» при $N_{\max}=30$

Отрицательные значения являются следствием ограничения гармоник при восстановлении.

Таблица 2

N_{Φ}	OA=15x15	25x25	35x35	50x50
1	0,871	0,921	0,943	1
2	-0,727	-0,484	-0,369	-0,261
3	0,454	0,160	0,017	-0,121
4	-0,246	0	0,211	0,321
5	0,080	-0,002	-0,069	-0,053
6	0,098	0,098	0,069	-0,016
7	-0,231	-0,162	-0,082	0,007
8	0,291	0,226	0,112	0,020
9	-0,299	-0,169	-0,078	-0,078
10	0,258	0,105	0,012	-0,006
11	-0,178	-0,056	-0,044	-0,065
12	0,095	0,060	-0,003	-0,042
13	-0,020	0,016	-0,037	-0,052
14	-0,048	-0,081	-0,080	-0,090
15	0,089	0,053	-0,010	-0,028
16	-0,076	-0,012	-0,041	-0,032
17	0,018	0,002	-0,031	-0,052
18	0,017	0,007	-0,005	-0,000
19	0,001	-0,006	-0,035	-0,032
20	-0,010	-0,009	-0,001	0,007
21	-0,043	-0,009	-0,020	0,006
22	0,102	0,086	0,075	0,028
23	-0,103	-0,054	-0,034	0,006
24	0,076	0,069	0,032	0,050
25	-0,069	-0,056	0,012	0,010
26	0,083	0,073	0,031	0,036
27	-0,100	0,012	0,030	0,058
28	0,094	0,056	0,061	0,042
29	-0,069	-0,015	0,010	0,034
30	0,058	0,064	0,052	0,045

Аналогичные гистограммы для участка «шкуры» представлены на рис.4.

Изменение размеров OA на рис.4 оказало влияние в области низких уровней яркости. Это следствие включения в OA широкой темной полосы (левый нижний угол OA=25x25). На рис.3 случайная составляющая больше, что соответствует характеру участка.

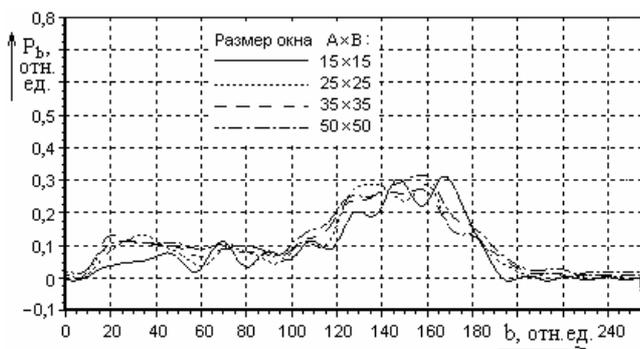


Рис. 4. Восстановленные гистограммы текстуры «шкура» при $N_{\max}=30$

На рис.5 представлены гистограммы, рассчитанные для области «уха».

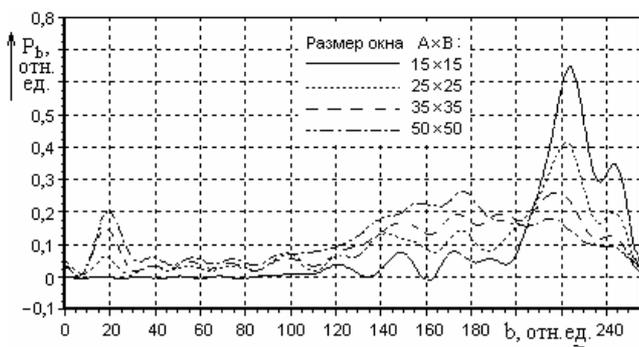


Рис. 5. Восстановленные гистограммы уровней яркости в области «уха» при $N_{\max}=30$

Этот участок не является текстурой, и это приводит к существенному различию гистограмм при всех размерах ОА.

Чтобы показать ограничения данной методики, проведем расчеты для области «стыка» (участок б на рис. 1). Гистограммы для этого участка представлены на рис.6.

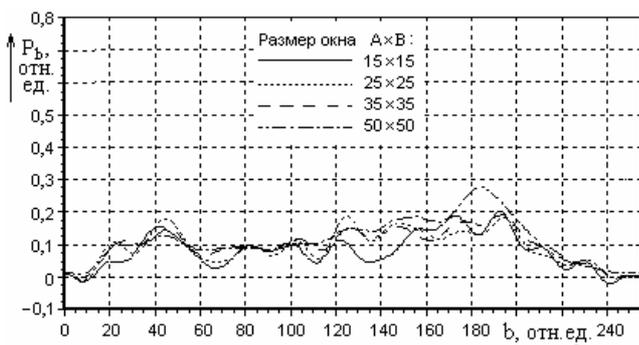


Рис. 6. Восстановленные гистограммы уровней яркости в области «стыка» при $N_{\max}=30$

Изменение гистограммы этого участка больше соответствует изменениям гистограмм на текстурах. Это явилось следствием того, что центры всех выбранных ОА расположены точно на стыке текстур. Это показывает, что при реальном распознавании требуется предварительное оконтуривание изображений.

Выводы

Текстурный анализ требует разработки как теоретических основ, так и создания новых практических методик. Представленная в данной работе предварительная оценка возможности идентификации текстур на основании сравнения гистограмм распределения яркости при измерении размеров окна анализа показала достаточную эффективность такой методики. Показана также необходимость ее дальнейшего совершенствования.

Безусловно, при идентификации цветных изображений процедура будет работать эффективнее. Изображения в градациях серого существенно ухудшают возможность распознавания, поскольку технические средства регистрации изображений имеют ограниченный диапазон яркостей и плотность (яркость) стараются сделать по возможности одинаковой.

Кроме геометрических искажений, данная процедура может быть инвариантной еще по одному фактору – по яркости освещения объекта. В этом случае в качестве численного критерия для принятия решения необходимо использовать отношения коэффициентов ряда разложения.

Литература: 1. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 584 с. 2. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с. 3. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. 320 с. 4. Путятин Е.П., Панченко И.А. Об аксиоматике текстурного анализа в задачах обработки изображений // Радиоэлектроника и информатика. 2011. № 4. С.25-31. 5. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высшая школа, 1983. 294 с. 6. Laws K. Rapid texture identification. In SPIE Vol. 238 Image Processing for Missile Guidance, 1980. P. 376-380 p. 7. Laws K. Textured Image Segmentation, Ph.D. Dissertation, University of Southern California, January 1980. 8. Чи-Мэн Пан и Мун-Чуен Ли. Логарифмически-полярные вейвлет-сигнатуры для классификации текстур, инвариантных к вращению и масштабу. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 25, No. 5. 2003.

Поступила в редколлегию 14.04.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Дорошенко В.А.

Панченко Ирина Александровна, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Научные интересы: анализ изображений, программирование. Адрес: Украина, 61736, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021-419.

Путятин Евгений Петрович, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой информатики ХНУРЭ. Научные интересы: анализ изображений. Адрес: Украина, 61736, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021-419.

СПРОЩЕННЯ ЛОГІЧНОГО СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ НА ОСНОВІ КАТАЛОГІВ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ

КОЧКАРЬОВ Ю.О., БУРМІСТРОВ С.В.,
СИНЬКО І.В.

Аналізується сучасний стан каталогізації мінімальних форм логічних функцій (ЛФ) та пропонуються більш ущільнені каталоги ЛФ у вигляді мегагруп релятивності (МГР), кількість яких не перевищує 2^{n-1} , що складає реальну практичну основу для радикального спрощення етапу логічного синтезу цифрових блоків різного призначення. Пропонується інструментальний пакет, який дозволяє безпосередньо по номеру обраної ЛФ знайти мінімальні форми представлення ЛФ у трьох ізоморфних базисних формах представлення (ФП), а також інформацію про очікувані показники складності реалізації ЛФ

Вступ

Каталогізація логічних функцій (ЛФ) є достатньо актуальною задачею, вирішення якої робить реальним радикальне спрощення найбільш трудомісткої задачі на етапі логічного синтезу цифрових блоків – мінімізації ЛФ.

Наявність розвинених каталогів ЛФ дозволяє відразу після формування опису комбінаційної схеми (КС) – інформаційного ядра майбутнього цифрового блоку перейти безпосередньо до схемної реалізації КС, маючи в наявності мінімальні форми, тобто найкращі результати мінімізації необхідних ЛФ.

Для вирішення даної задачі достатньо мати опис КС, що реалізує систему ЛФ:

$$\begin{aligned} y_1 &= f_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \\ y_2 &= f_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \\ y_3 &= f_3(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \\ &\dots \\ y_m &= f_m(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \end{aligned} \quad (1)$$

де $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – вхідні двійкові сигнали КС; $y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$ – вихідні сигнали КС, частина яких поступає на входи комірок пам'яті, інша безпосередньо на вихід КС, тобто всього цифрового блоку.

Аналіз проблемної області і постановка задачі

Проблема практичної каталогізації ЛФ ні теоретично, ні практично не ставилась у зв'язку з великою кількістю самих ЛФ. Відомо, що потужність повної множини ЛФ від n аргументів $L(n)$ складає $(2^n)^n$ ЛФ, тобто вже при $n=5$ $L(n)$ складає приблизно 4,3 млрд ЛФ.

На думку авторів прогрес у проблемі каталогізації ЛФ полягає в конструктивному вивченні структури множин $L(n)$, яке дозволяє виявити деякі «каркасні» блоки у множинах $L(n)$. Перші результати в проблемі КЛФ (каталогізація логічних функцій) треба пов'язати

з [1], в якому каталогізовані три відомі на той час форми представлення (ФП) ЛФ:

– Класична форма представлення (КФП) – у вигляді диз'юнктивних нормальних форм (ДНФ) (в окремих випадках кон'юнктивних нормальних форм (КНФ)).

– Алгебраїчна форма представлення (АФП) – у вигляді кон'юнкцій, які алгебраїчно додаються між собою з ваговими коефіцієнтами.

– Поліноміальна форма представлення Ріда-Мюлера (РМФП) – у вигляді кон'юнкцій, які додаються між собою по модулю 2.

В [1] використовується розроблена система наскрізної нумерації ЛФ в $L(n)$, яка дозволила сформувати в [1] повні каталоги мінімальних ФП ЛФ для $n=2,3,4$ і вибірково для $n=5$.

Наступним важливим етапом у вирішенні проблеми КЛФ стало встановлення та застосування так званих груп релятивності (ГР) [2], в яких всі ЛФ, що доведено експериментально, мають однакові показники складності реалізації. Результат другого етапу ущільнення КЛФ наведений в табл. 1.

Таблиця 1
Результати 2 етапу ущільнення КЛФ

Кількість аргументів n	Кількість ЛФ у $L(n)$	Кількість ГР	Кількість записів у каталогах $L(n)$
2	16	5	2
3	256	22	13
4	65536	402	238
5	4.294.967.296	1.228.158	727.118

Записи в ущільнених каталогах існують у вигляді номерів ГР, які збігаються із мінімальними номерами ЛФ, що входять до складу вказаних ГР і мають однакові показники складності реалізації в мінімальних формах представлення КФП, АФП, РМФП у звичайному та в оптимально поляризованому вигляді. Кількість записів у каталогах $L(n)$ (таблиця 1) складає приблизно половину ГР (з деяким надлишком), тому що в каталогах наводяться тільки ті ЛФ, які мають кількість одиниць у ПІ не більше, ніж 2^{n-1} . В інших ЛФ повинні реалізуватися не одиниці, а нулі в ПІ.

Наступним кроком ущільнення КЛФ, що пропонується в роботі, є введення більш масштабних об'єктів – так званих мегаГР, які складаються з декількох ГР кожна і відрізняються одна від одної кількістю одиниць у таблицях ЛФ. Наприклад, для $n=4$ у множині $L(n)$ таких множин всього 2^{n-1} , тобто 8. Кількість ГР, і, відповідно, ЛФ у таких МГР може бути великою. Наприклад, для $n=4$ та $l=8$ (кількість одиниць у таблиці істинності) МГР містить у своєму складі 12870 ЛФ.

Для практичного використання такого ущільнення КЛФ потрібна відповідна програмна підтримка.

Метою даного дослідження є розробка комплексної програмної підтримки, що полягає у визначенні для

конкретної заданої ЛФ номеру ГР та, відповідно, всіх показників складності реалізації ЛФ у КФП, АФП та РМФП, які відносяться до отриманої ГР.

Запропонована раніше типова задача «Релятивізація» [3], яка полягає у визначенні для конкретної заданої ЛФ відповідної ГР, може вирішити проблему для однієї ЛФ, але для процесу КЛФ дана задача не є придатною, бо, як вказано вище, в одній МГР, наприклад, для $n=4$ кількість ЛФ у МГР із 8 одиницями ($l=8$) складає:

$$C_{2^n}^8 = C_{16}^8 = \frac{16!}{8!(16-8)!} = 12870$$

Процес релятивізації ЛФ полягає в цілеспрямованій перестановці та інвертуванні аргументів ЛФ таким чином, щоб у фіналі отримати ЛФ з мінімальним порядковим номером, що є також номером ГР. Вказана процедура повинна супроводжуватись інформацією щодо використаних кроків, тому що дана інформація потрібна для правильного призначення номерів аргументів у первинній ЛФ.

Для фіксації даної інформації введено поняття векторів трансформації. Вектори трансформації заданої логічної функції V_t – це множина векторів розмірності n , елементи яких є порядковими номерами аргументів ЛФ. Початковий вектор всіх ЛФ у $L(n)$ має очевидний вигляд: $V_{t0}^{LFN1} = (n-1, n-2, \dots, 3, 2, 1, 0)$.

При релятивізації, тобто в разі потреби перестановки аргументів місцями або при інвертуванні окремих аргументів фактично утворюється нова логічна функція $LFN2$, вектор трансформації в базисі ЛФ $LFN1$ має інший вигляд (наприклад, при перестановці місцями аргументів 2 і 3):

$$\begin{aligned} V_{t0}^{LFN2} &= (n-1, n-2, \dots, 1, 0) \leftrightarrow V_t^{LFN1 > LFN2} = \\ &= (n-1, \dots, 2, 3, 1), \\ V_{t0}^{LFN3} &= (n-1, n-2, \dots, 1, 0) \leftrightarrow V_t^{LFN1 > LFN3} = \\ &= (n-2, \dots, 3, -1, 0). \end{aligned}$$

На основі поняття векторів трансформації застосовується також поняття таблиці трансформації (ТТ) ЛФ ГР. Таблиця трансформації ЛФ ГР – це прямокутна таблиця, в рядках якої записані порядкові номери аргументів конкретної ЛФ (координати векторів трансформації). Рядками служать всі можливі вектори трансформації, які можна отримати перестановкою аргументів місцями або при інвертуванні окремих аргументів ЛФ. Кількість стовпчиків у таблиці дорівнює n (де n – кількість аргументів), а кількість рядків – $n! \cdot 2^n$.

Таблиця трансформації ЛФ ГР описує всі можливі ЛФ однієї ГР, до якої належить вказана ЛФ.

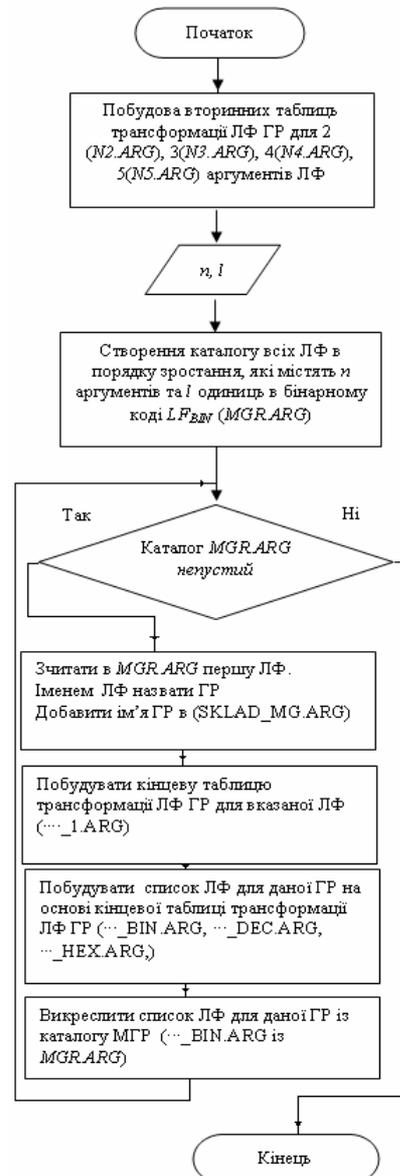
Подальші дії процесу релятивізації виконуються безпосередньо з самою ТТ і полягають у тому, що вектори трансформації перетворюються у відповідні номери рядків ТТ. Кількість рядків ТТ, як було вказано, складає $n! \cdot 2^n$ і відображає кількість всіх теоретично можливих ЛФ у МГР. Дані про кількість рядків у ТТ наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Залежність росту кількості рядків ТТ від кількості аргументів ЛФ

№ п/п	Кількість аргументів в ЛФ	Кількість елементів в рядку	Кількість рядків
1	1	2	2
2	2	4	8
3	3	8	48
4	4	16	384
5	5	32	3 840
6	6	64	46 080
7	7	128	645 120

Так, для $n=4$ ТТ має 16 стовпчиків та 384 рядки. Слід зауважити, що ця інформація обчислюється лише один раз при підготовці створення каталогу $L(n)$ і відноситься до всіх 65536 ЛФ у $L(4)$. Обробка ТТ полягає в її спрощенні для конкретної ЛФ за рахунок викреслення однакових рядків, що відносяться до однакових ЛФ, у сортуванні елементів в рядках у порядку спадання та рядків ТТ у порядку зростання.



Алгоритм задачі структурування множин логічних функцій
РИ, 2012, № 2

Використання таблиць трансформації ЛФ ГР дає можливість, маючи задану ЛФ, побудувати всю ГР, до якої належить дана ЛФ, та вказати її номер.

Формування складу множин МГР, що входять до множини $L(n)$, є фундаментальною задачею для програмної підтримки запропонованого КЛФ.

Для вирішення цієї задачі запропоновано алгоритм (рисунок), який дозволяє по заданій кількості аргументів n та кількості одиниць l в очікуваному МГР знайти номери всіх ГР, що входять до складу вказаного МГР, а також номери всіх ЛФ у складі МГР.

В результаті таких спрощень та впорядкувань ТТ формування множини номерів ГР та ЛФ, які входять до складу ГР i , відповідно, МГР, здійснюється у відповідності з наведеним вище алгоритмом.

Висновки

1. Розроблені каталоги ЛФ у вигляді множин мегагруп релятивності, кількість яких не перевищує 2^{n-1} , складають реальну практичну основу для радикального спрощення етапу логічного синтезу цифрових блоків різного призначення.

2. Розроблений алгоритм вирішення типової задачі «Склад МГР» дозволяє безпосередньо за номером обраної ЛФ знайти мінімальні форми представлення ЛФ у трьох базисних ФП (КФП, АФП, РМФП), інформацію про оптимальну поляризацію аргументів та вектор трансформації, який дозволяє правильно нумерувати вхідні аргументи обраної ЛФ.

Література: 1. Кочкарев Ю.А., Пантелеева Н.Н., Казаринова Н.Л., Шакун С.А. Классические и альтернативные

УДК519.7

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ НАГРУЗОК СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ НА СЕРВЕРЕ

АНДРИЕНКО Е.А., ГВОЗДИНСКИЙ А.Н.,
РАТАЙ С.К.

Исследуется алгоритм, с помощью которого решаются задачи для распределения допустимых нагрузок приложений на сервере, чтобы минимизировать возможные сбои для корректной работы с данными.

1. Введение

Актуальность исследования. В век развитой индустрии ИТ-технологий уже трудно представить любое предприятие, ориентированное на коммерческую или некоммерческую деятельность без использования автоматизации бизнес-процессов. Внедрение ИТ-технологий и автоматизация рабочих мест кадров необходима для того, чтобы быть конкурентно способным на рынке как внешне, так и внутренне. Внедрение таких технологий и их использование дают массу преимуществ.

минимальные формы логических функций. Каталог-справочник /Ю.А.Кочкарев, Н.Н.Пантелеева, Н.Л.Казаринова, С.А.Шакун. Черкасский институт управления, 1999. 193 с. 2. Кочкарьов Ю.О., Синько І.В., Панаско О.М. Оптимізація структури комбінаційних схем шляхом використання оптимальної форми представлення логічних функцій// Матеріали ІІ міжнародної науково-технічної конференції (ІМТ-2009), Черкаси. С. 38-39. 3. Кочкарьов Ю.О., Бурмістров С.В., Синько І.В. Спрощення логічного проектування блоків цифрових схем на основі каталогізації груп релятивності (ГР) /Ю.О.Кочкарьов, С.В.Бурмістров, І.В.Синько. Вісник ЧДТУ. 2011, № 4. С. 39-41.

Надійшла до редколегії 12.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Удовенко С.Г.

Кочкарьов Юрій Олександрович, д-р техн. наук, професор кафедри інформатики та інформаційної безпеки Черкаського державного технологічного університету. Наукові інтереси: розробка і дослідження нових форм представлення інформації в цифрових блоках різного призначення. Адреса: Україна, 18002, Черкаси, вул. Хрещатик, 200, кв.103, тел. (+38 0472) 37-25-54, (+38 067) 98-38-160, e-mail: qa@2upost.com.

Бурмістров Сергій Владиславович, аспірант кафедри інформатики та інформаційної безпеки Черкаського державного технологічного університету, викладач Черкаського державного бізнес-коледжу. Наукові інтереси: розробка і дослідження нових форм представлення інформації в цифрових блоках різного призначення. Адреса: Україна, 18002, Черкаси, вул. Енгельса, 243, кв.51, e-mail: burmistrovsv@ Rambler.ru

Синько Ірина Василівна, аспірант кафедри інформатики та інформаційної безпеки ЧДТУ, асистент кафедри вищої математики. Наукові інтереси: дослідження структури логічних функцій. Адреса: Україна, 18002, Черкаси, вул. Седова, 242, кв.68, e-mail: irasinko@10k.com.ua

Это может быть и быстрый поиск информации во внутренних базах или хранилищах, исключение дублирования информации. К преимуществам можно отнести:

- увеличение обработки информации;
- повышение качества обработки;
- снижение времени на обработку информации;
- автоматическая генерация отчетов.

Все это автоматизируется с помощью серверов. Слово «сервер» произошло от английского глагола serve. В переводе на русский язык оно означает «служить», «обслуживать», т.е. серверные устройства обслуживают пользователей и являются аппаратными устройствами и программными средствами. Как аппарат сервер представляет собой компьютер, который обслуживает другие компьютеры, а также принтеры, факсы и иные технические средства. Пользователи определяют серверу свои задачи, а он их быстро и без ошибок решает с помощью определенных портов. В наше время невозможно себе представить работу банков, различных предприятий и научно-исследовательских учреждений без объединения информационных ресурсов в единую сеть, т.е. без серверов. Даже факс можно отправить с помощью компьютера, а следовательно, и с помощью сервера. Поэтому нужно

понимать всю важность серверов, их возможности и преимущества, а также различные назначения.

На любом предприятии используют серверы, создают многопользовательские центры, которые объединяют информацию всех работников-пользователей, что обеспечивает моментальный и очень удобный доступ к ней. Сервер обрабатывает огромный массив данных и предоставляет обмен информацией между всеми участниками одного проекта. Работа в учреждении или на предприятии становится более эффективной и отлаженной, так как увеличивается скорость выполнения задач и повышается ее надежность. Соответственно уменьшается количество ошибок и просчетов. С помощью серверов можно объединить также и материальные ресурсы, такие как факсы, принтеры и др. Поэтому понятно, что все это приводит только к огромной экономии времени и денег. Благодаря серверу мы общаемся по электронной почте, в сбербанках сотрудники распечатывают нам документы, а в супермаркетах кассиры очень быстро нас обслуживают. С помощью удаленного сервера мы всегда выходим в Интернет. Понятно, что совокупность серверов, которые обеспечивают доступ к удаленным собраниям ресурсов, и дает такое многообразие наполнения Интернета. Все сайты в Интернете хранятся на серверах. А доступ к серверам предоставляют хостинговые компании. Все это называется виртуальным хостингом. Безусловно, что чем надежнее, быстрее и безопаснее работает сервер, тем дороже обходится и серверное оборудование, а также программное обеспечение. Исходя из этих соображений, сервер является очень выгодным компонентом при работе в сети. Статистика гласит о том, что за 2011 год реализацию прошли 8,84 миллиона серверов. По сравнению с 2010 годом темп роста составил примерно 17%.

Сущность исследования заключается в том, чтобы найти оптимальное распределение допустимых нагрузок серверных приложений или служб на сервере, учитывая критерии передачи данных для точной передачи и хранения данных.

Цели исследования заключаются в минимизации ошибок числа допустимых ошибок на сервере, а также минимизации времени и затрат на обработку запросов приложений (служб); распределить допустимые нагрузки серверных приложений (служб) между m серверами компьютерной сети. Для достижения данной цели решаются задачи анализа алгоритмов оптимизации, которые могли бы решить поставленную задачу; выбор конкретного алгоритма, который бы мог справиться с проблемой.

Индустрия электронной коммерции продолжает развиваться, и сегодня все новые компании начинают общаться со своими клиентами с помощью Web. Высокопроизводительный сайт, способный предоставлять материалы быстро и без сбоев, не только помогает привлекать новых клиентов. Он становится важнейшей предпосылкой успешной деятельности

предприятий электронной торговли, повышения их конкурентоспособности а также частую посещаемость пользователей из-за нормальной скорости их загрузки. Едва ли потенциальные клиенты когда-нибудь вернуться на раздражающе “тихоходный” узел, где посетитель подолгу ждет реакции на свой запрос, а то и вовсе остается без ответа. Вот почему при планировании инфраструктуры узла Web в любой организации мерам по повышению его производительности следует уделять особое внимание.

2. Постановка задачи и математическая модель

Предприятие, работа которого зависит от компьютеров и компьютерной сети, нуждается в наличии серверов, для которых нужно определить оптимальность их работы. Каждый сервер имеет характеристики производительности. При обнаружении неполадки одного из серверов выходом из ситуации будет взаимозаменяемость их при обработке сетевых приложений (служб). Таким образом, для того, чтобы выполнить задачу, нужно составить план распределения приложений (служб) на серверы с заданными ограничениями при условии:

– достигнуть минимума времени на обработку запросов;

– минимум затрат на обработку запросов приложений (служб);

– достигнуть минимума ошибок.

Исходя из общей математической модели задачи распределения нагрузок, для решения задач такого типа, с учетом всех особенностей поставленной перед нами задачи, построим конкретную математическую модель, с помощью которой можно будет вычислить экстремумы по трем условиям:

– достижение минимума времени на обработку запросов будет описываться такой функцией цели и ограничениями:

$$F(x) = 60x_1 + 25x_2 + 15x_3 \rightarrow \min \quad (1)$$

при условиях:

$$0.3x_1 + 0.5x_2 + 0.4x_3 \leq 300, \quad (2)$$

$$0.5x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3 \leq 800, \quad (3)$$

$$1.3x_1 + 0.1x_2 + 1.2x_3 \leq 200, \quad (4)$$

$$x_1 \geq 500; \quad x_2 \geq 300, \quad (5)$$

– минимум затрат на обработку запросов приложений (служб):

$$F(x) = 55x_1 + 30x_2 + 8x_3 \rightarrow \min \quad (6)$$

при условиях:

$$0.8x_1 + 0.5x_2 + 0.3x_3 \leq 250, \quad (7)$$

$$0.3x_1 + 0.5x_2 + 0.6x_3 \leq 500, \quad (8)$$

$$0.8x_1 + 0.1x_2 + 1.1x_3 \leq 150, \quad (9)$$

$$x_1 \geq 400; \quad x_2 \geq 150, \quad (10)$$

– достижение минимума ошибок:

$$F(x) = 25x_1 + 10x_2 + 30x_3 \rightarrow \min \quad (11)$$

при условиях:

$$0.6x_1 + 0.7x_2 + 0.4x_3 \leq 200, \quad (12)$$

$$0.6x_1 + 0.75x_2 + 0.8x_3 \leq 700, \quad (13)$$

$$1.4x_1 + 0.5x_2 + 1.4x_3 \leq 300, \quad (14)$$

$$x_1 \geq 550; \quad x_2 \geq 350. \quad (15)$$

Целевые функции $F(x)$, представленные в выражениях (1), (6), (11), выражают возможные значения нагрузок, при которых сервер может корректно обрабатывать, передавать, принимать данные, определенные пользователем. Таким образом, для получения оптимального плана необходимо минимизировать целевые функции $F(x)$ с соблюдением всех условий задачи, которые накладывают ограничения на $F(x)$.

В выражениях (1)-(15) описана задача для нахождения экстремумов линейных функций в условиях системы линейных ограничений.

3. Исследования методов решения

Исходя из полученной обобщенной математической модели решения задач, изложенных в постановке задач, для решения обычно используют математические методы поиска экстремумов. Среди них наиболее развитым и широко используемыми являются методы математического программирования, методы эволюционной оптимизации (генетические алгоритмы) и классические итерационные методы достижения экстремумов функций.

К математическому программированию относятся: линейное программирование, нелинейное программирование, теория графов, целочисленное программирование, стохастическое линейное программирование, задачами теории массового обслуживания, динамическое программирование, геометрическое программирование.

Ввиду того, что задача распределения нагрузок на сервер имеет вид задачи нахождение экстремумов функций и состоит из трех систем уравнений, что описано в условиях задачи, и данные три функции цели сводятся к нахождению минимумов, то методом решения задачи будет универсальный метод линейного программирования – симплекс-метод и стохастический Байесов принцип.

Симплекс-метод. Данный метод решения задачи линейного программирования является универсальным. С его помощью можно решить любую задачу данного типа. В его основу положена идея последовательного улучшения получаемого решения.

Геометрический смысл данной задачи состоит в том, чтобы последовательно перейти от одной вершины многогранника ограничения нагрузок на сервер к соседней таким образом, чтобы целевая функция приняла наилучшее значение до тех пор, пока не будет найдено оптимальное решение распределения нагрузок на сервер. В нашем случае – \max нагрузок.

Процесс нахождения оптимального плана предполагает реализацию 3-х элементов:

- 1) определение первоначального допустимого базисного для решения задачи распределения нагрузок;
- 2) правило перехода к лучшему решению для нахождения \max нагрузок;
- 3) критерий проверки оптимальности для решения данной задачи.

Эта задача касается анализа, главным образом, к задачам линейного программирования. Но существуют еще модели стохастического характера, которые можно свести к детерминированным линейным моделям большей размерности; при этом увеличение размерности в реальных задачах настолько значительно, что нахождение оптимального решения подчас оказывается практически невозможным. Стоит рассмотреть стохастический Байесов принцип. Данный метод в условиях частичной неопределенности предполагает, что возможным состояниям природы можно приписать вероятность их наступления и, определив математическое ожидание выигрыша для каждого решения, выбрать то, которое обеспечит наибольшее значение выигрыша.

При этом предполагается, что ситуация, в которой принимается решение, характеризуется следующими обстоятельствами:

- вероятности появления состояния F_j известны и не зависят от времени;
- решение реализуется (теоретически) бесконечно много раз;
- для малого числа реализаций решения допускается некоторый риск.

При достаточно большом количестве реализаций среднее значение постепенно стабилизируется. Поэтому при полной (бесконечной) реализации какой-либо риск практически исключён.

4. Алгоритмы решения задачи

Для использования конкретных методов решений стоит сформулировать следующие примеры для таких методов:

Симплексный метод включает в себя ряд этапов и может быть сформулирован в виде алгоритма.

Шаг 1. Формулировка ЗЛП (формирование целевой функции и системы ограничений распределения нагрузок на сервер). Из этого следует, что решается задача на отыскание максимума. Следует привести

общую постановку данной задачи для достижения минимума времени на обработку запросов:

$$F(x) = 60x_1 + 25x_2 + 15x_3 \rightarrow \min \quad (16)$$

при условии, что:

$$0.3x_1 + 0.5x_2 + 0.4x_3 \leq 300, \quad (17)$$

$$0.5x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3 \leq 800, \quad (18)$$

$$1.3x_1 + 0.1x_2 + 1.2x_3 \leq 200, \quad (19)$$

$$x_1 \geq 500; \quad x_2 \geq 300. \quad (20)$$

В этих выражениях x_1, x_2, x_3 – критерии, по которым рассчитываются нагрузки на серверы.

Шаг 2. Приведение задачи к канонической форме, что является переводом функции ограничений в систему уравнений. Для этого нужно вводить дополнительные неотрицательные переменные. При этом следует знать, что эти переменные должны иметь тот же знак, что и свободные члены системы ограничений. Если это условие не выполняется, то нужно использовать метод искусственного базиса (М-метод).

В результате получим каноническую форму задачи для распределения нагрузок приложений на сервере:

$$F(x) = 60x_1 + 25x_2 + 15x_3 \rightarrow \min \quad (21)$$

при тех же ограничениях:

$$0.3x_1 + 0.5x_2 + 0.4x_3 - x_4 = 300, \quad (22)$$

$$0.5x_1 + 0.7x_2 + 0.8x_3 - x_5 = 800, \quad (23)$$

$$1.3x_1 + 0.1x_2 + 1.2x_3 - x_6 = 200. \quad (24)$$

В результате этого можно получить систему ограничений данной задачи по 3-м критериям.

Шаг 3. Построение исходной симплекс-таблицы, в результате чего можно получить первоначальный план решения задачи. Он показан в табл. 1.

Таблица 1

Базис	C _j		C ₁ =60	C ₂ =25	C ₃ =15	C ₄ =0	C ₅ =0	C ₆ =0
	C _i	P ₀ =X ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆
P ₄	0	300	0,3	0,5	0,4	-1	0	0
P ₅	0	800	0,5	0,7	0,8	0	-1	0
P ₆	0	200	1,3	0,1	1,2	0	0	-1
F _j		0	0	0	0	0	0	0
Δ _j		-	-60	-25	-15	0	0	0

Итак, в левом столбце записываются основные (базисные) переменные, в первой строке перечисляются все переменные задачи. Крайний правый столбец содержит свободные члены системы ограничений b_1, b_2, \dots, b_m . В последней строке таблицы, которая называется оценочной, записываются коэффициенты целевой функции, а также ее значение. В рабочую область таблицы занесены коэффициенты a_{ij} при переменных системы ограничений.

Шаг 4. Проверка условия $c_j \geq 0$. Если условие не действительно – осуществляется переход к шагу 5, если да – задача решена. Таким образом, на данном шаге проверяется наличие положительных элементов в последней строке симплексной таблицы.

Шаг 5. Выбор разрешающего столбца и строки. Столбец выбирается в соответствии со следующим условием:

$$\theta = x_i / x_{ik}, \quad x_{ik} > 0, \quad (25)$$

где k – номер разрешающего столбца.

Таким образом, при определении разрешающего столбца просматривается выбранная строка симплексной таблицы и в ней отыскивается положительный наибольший элемент. Для данной задачи этим элементом будет $x_{rk} = 1.3$.

Шаг 6. Проверка условий: если $x_k \geq 0$, то опорный план и есть решением задачи; $x_k < 0$ – следует рассмотреть шаг 7.

Проверять первый раз это условие не стоит, так как изначально опорный план задачи распределения ресурсов не имеет отрицательных значений, поэтому нужно переходить к шагу 7.

Шаг 7. Пересчет элементов симплекс-таблицы и переход к новому базисному решению.

Для элементов разрешающей строки используются следующие формулы:

$$x'_{ij} = x_{ij} / x_{rk}, \quad (26)$$

$$x'_{ij} = x_{ij} - x_{ri} * x_{ik} / x_{rk}, \quad (27)$$

$$j = 0, (r + m), \quad (28)$$

где r – номер разрешающей строки; k – номер разрешающего столбца; x'_{ij}, x'_{ij} – новые значения пересчитываемых элементов.

По окончании пересчета осуществляется возврат к шагу 4.

Если в результате выполнения шага 4 были получены положительные значения строки c_j , то оптимальный план задачи был достигнут.

Таким образом, с помощью симплекс-метода было найдено решение задачи распределения нагрузок приложений (служб) на сервере.

Базовый план выглядит так:

$$x^* = \|112.9; 532.26; 0; 0; 370.97; 0\|.$$

В результате получили значение целевой функции:

$$F(x) = 25 * 532.26 + 0 * 370.97 + 60 * 112.9 = 20080.$$

Допустимые нагрузки на данном сервере с ограничением на минимальное время выполнения действий

(приложений, служб) на сервере могут составить не больше 20080 запросов.

Аналогично вычислениям на минимальное время выполнения служб можно получить значение критерия на минимум затрат при обработке запросов приложений (служб).

Оптимальный план будет выглядеть так:

$$x^* = \parallel 156.5; 250; 0; 0; 328.13; 0 \parallel,$$

$$F(x) = 30 * 250 + 0 * 328.13 + 55 * 156.5 = 16093.$$

Минимальное время выполнения служб будет при подаче 16093 запросов на сервер.

При достижении минимума ошибок во время выполнения обработки информации на сервере с помощью служб или приложений будут другие данные:

$$x^* = \parallel 0; 0; 214.29; 114.29; 528.57; 0 \parallel,$$

$$F(x) = 0 * 114.29 + 0 * 528.5 + 30 * 214.29 = 6428.$$

Минимум ошибок будет достигнуто при выполнении 6428 запросов.

Критерий Байеса-Лапласа предъявляет к ситуации, в которой принимается решение о распределении нагрузок приложений на сервер.

Расчет критерия Байеса-Лапласа выглядит так:

$$K_i^{BL} = \sum_j p_j u_{ij}, \quad (29)$$

$$i^{BL} = \arg \max_i (K_i^{BL}), \quad (30)$$

Шаг 1. Определение вероятностей состояний сервера для данной задачи. Они будут равны $p_1 = 0.3; p_2 = 0.5; p_3 = 0.2$.

Шаг 2. Составление матрицы ценности. Соответственно она будет состоять из альтернативных решений, которые включают в себя состояния сервера и решений.

Это показано в табл. 2:

Таблица 2

Альтернативные решения	Состояния сервера		
	1	2	3
Решение 1	10000	15366	9870
Решение 2	8750	14800	7650
Решение 3	9630	15560	9320

Шаг 3. Определение критериев по Байесу-Лапласу. Значения критериев будут равны:

$$K_1^{BL} = 0.3 * 10000 + 0.5 * 15366 + 0.2 * 9870 = 12657;$$

$$K_2^{BL} = 11555; K_3^{BL} = 12533.$$

Шаг 4. Определение наилучшего решения – максимального. Для данной задачи теперь можно определить, что наилучшим решением является первое:

$$i^{BL} = \arg \max(12657, 11555, 12533) = 1, K^{BL} = 1.$$

Таким образом, было найдено решение для распределения нагрузок на сервер: из трех решений первое было наилучшим по критерию Байеса-Лапласа.

4. Выводы

В ходе выполнения работы был рассмотрен метод оптимизации распределения допустимых нагрузок серверных приложений (служб) на сервер с использованием определенных условий. Основным инструментом при решении данной задачи стало математическое моделирование – формальное описание изучаемого явления и исследование с помощью математического аппарата. Была составлена математическая модель задачи. Для нахождения решений был выбран симплекс-метод и стохастический принцип Байеса-Лапласа.

Научная новизна. Важность использования сервера, а также регулярной проверки наличия доступа к серверу в век информационных технологий и глобального присутствия любого бизнеса в интернете трудно переоценить. При неработающем хостинге, кроме недоступности некоторого сайта посетителям, могут быть и более серьезные проблемы. Если робот поисковой системы попадает на необрабатываемый сайт, то он может быть исключен из выдачи поисковика. Соответственно есть возможность в потере очень многих посетителей и потенциальных клиентов.

Таким образом, данное понятие означает тот временной промежуток, в течение которого сервер работает без неполадок. Апдайм сервера является одним из важнейших параметров качества, потому что от него напрямую зависит возможность просматривать некоторый сайт пользователями и поисковыми ботами.

Практическая значимость. Полученные научные результаты данного исследования имеют большое практическое значение для разработки плана нагрузок с точки зрения минимизации ошибок, времени на обработку запросов приложений (служб) и затрат работы технического оборудования.

Вопрос обслуживания сервера очень часто встает перед разработчиками или владельцами крупных высоко посещаемых проектов, ведь масштабов обычного виртуального хостинга уже не хватает, а VIP хостинг дорогой и также не выгоден с точки зрения эффективности. В этой связи приходится арендовать свой сервер, однако его необходимо администрировать, управлять, защищать и так далее. Сервера используют различные компании в своих офисах для обеспечения эффективной работы персонала, работы финансовой и бухгалтерской службы, которые могут работать в одной программе 1С, например, дабы всегда иметь свежие обновленные данные. Серверы в компаниях обеспечивают выход сотрудников в интернет, регламентируют доступ к определенным ресурсам, чтобы персонал занимался работой, а не социальными сетями и другими развлечениями.

Работа сотрудников любой фирмы во многом зависит от эффективности работы сервера. Хорошо отлажен-

ный сервер увеличивает производительность сотрудников компании и эффективность работы в целом в несколько раз. Сбои на сервере могут привести не только к отсутствию доступа в сеть Интернет, но и к потере ценных данных, простоя в работе, потере заявок, просрочке выполнения работ и многое другое. Сегодня почти все компании, нацеленные на долгосрочную и плодотворную деятельность, не могут обойтись без развитой компьютерной сети, а значит и без сервера, который эту сеть обслуживает и организует. Здесь невероятно важно подумать не только об установке и настройке сервера, но и о его дальнейшем качественном и квалифицированном обслуживании.

Литература: 1. *Бондаренко М.Ф., Гвоздинский А.М.* Оптимизационные задачи в системах принятия решений.

Поступила в редколлегию 13.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Кузмин А.Я.

Андрienко Екатерина Александровна, студентка группы КН-08-4 кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: методы принятия решения в системах искусственного интеллекта. Адрес: Украина, 61202, Харьков, ул.Целиноградская, 36, к.516, тел. (050)-287-26-87.

Гвоздинский Анатолий Николаевич, канд.техн.наук, профессор кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: оптимизация процедур принятия решений в сложных системах управления. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул.акад. Ляпунова, 7, кв. 9, тел. 702-38-33.

Ратай Станислав Константинович, студент группы КН-08-2 кафедры информационно-управляющие системы ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61202, Харьков, ул. Отокара Яроша, 15, кв. 67, тел. (093)-246-83-35.



КОМПЛЕКСНА ЕКОЛОГО-ГІГІЄНИЧНА ОЦІНКА СТАНУ АНТРОПОГЕННО- НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ЗА КОНЦЕПЦІЄЮ КОРПОРАЦІЙНОЇ ЕКОЛОГО-ГІГІЄНИЧНОЇ СИСТЕМИ

*КОЗУЛЯ Т.В., М'ЯСОСДОВ В.В.,
ЩЕРБАНЬ М.Г., КОЗУЛЯ М.М.*

Аналізується комплексна оцінка еколого-гігієнічної якості навколишнього середовища. Розглядається питання врахування екологічної і медико-гігієнічної складової у визначенні ризику для здоров'я населення.

Вступ

Проблема пошуку, розробки й використання ефективних та адекватних методик оцінки антропогенного впливу довкілля на території проживання населення – важка задача з багатьох чинників.

Відомо, що здоров'я населення безпосередньо залежить від санітарного та екологічного стану території, на якій проживають люди, та їх способу життя. Епідеміологічні дослідження останніх років вказують на високу розповсюдженість захворювань на екологічно-несприятливих територіях [1, 2].

Доказано, що негативний вплив на здоров'я населення техногенного забруднення нелегко виявити із безлічі діючих антропогенних факторів. У цьому аспекті велике значення має методика оцінки ситуації, яку використовують науковці та фахівці.

За даними експертів ВОЗ рівень популяційного здоров'я на 18-20% залежить від стану навколишнього середовища, у регіонах України – на 40-50%.

Доведено, що фактор навколишнього середовища може відігравати різноманітну роль в етіології захворювання, а саме: він може бути як етіологічним, так і причинним, який практично повністю визначає розвиток конкретного специфічного захворювання. Зараз приблизно 20 хронічних захворювань населення достатньо аргументовано вважають наслідком впливу екологічних факторів, які можуть зумовлювати віддалені наслідки (мутагенна, канцерогенна, гонадотоксична, терантогенна, ембріотоксична та атеросклеротична дія) та відігравати модифікуючу роль, тобто змінювати клінічну картину та погіршувати перебіг хронічної хвороби.

У населення, що проживає в умовах інтенсивного забруднення, зростає не тільки загальне число первинної захворюваності, але й число вперше виявлених випадків захворювань органів дихання – на 12% (в тому числі хронічний бронхіт на 47%), гіпертонічної хвороби на 67%, хвороб нервової системи – на 29%, системи кровообігу – на 37%, туберкульозу – на 45%.

Посилення за останні роки впливу природно-антропогенних факторів на функціонування водних і наземних екосистем створює екологічну небезпеку не лише їх розвитку, але й існуванню самої людини, оскільки токсичний вплив техногенних факторів прогностично несприятливий майже для всіх систем організму: імунної (вторинні імуннодефіцитні стани), серцево-судинної (міокардіопатії), ендокринної (гіперплазія щитоподібної залози), ЦНС (гіпоксичні енцефалопатії), сечовидільної (дисметаболічні нефропатії), нейроендокринної та репродуктивної.

У зв'язку з наведеним пошук, відпрацювання та впровадження у практику нових ефективних методів оцінки санітарного та екологічного стану територій проживання населення є досить актуальною проблемою сучасності.

1. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є визначення ефективності методології комплексного еколого-гігієнічного стану антропогенно-навантаженої території на основі використання концепції корпоративної еколого-гігієнічної моделі системи (КЕГС). Для практичного використання запропонованої методики поставлені такі задачі:

- 1) дати еколого-гігієнічну оцінку рівню небезпеки техногенного впливу на екосистему з боку соціально-економічної системи (СЕС, території проживання населення) із застосуванням імовірнісно-ентропійних характеристик і ризик-визначень;
- 2) встановити рівень ступеня ризику для здоров'я відповідно до імовірнісно-ентропійної оцінки еколого-гігієнічних параметрів;
- 3) визначити ефективні заходи з проблеми управління еколого-гігієнічною безпекою з метою забезпечення санітарного й екологічного благополуччя та безпеки навколишнього середовища.

2. Методика дослідження і аналіз результатів

Остаточний висновок про реальний ступінь напруженості медико-екологічної ситуації, пов'язаної із забрудненням довкілля, складається з урахуванням міграції шкідливих хімічних речовин по ланцюжках (довкілля – вода – людина, довкілля – атмосфера – людина, довкілля – сільгосппродукція – людина). Саме ці складові структурують у вигляді інтегрованого об'єкта, що містить три самостійні складові системами, зв'язок між якими формує внутрішнє середовище об'єкта дослідження і зв'язок з довкіллям.

Визначення геохімічно-трансформаційної міграції досліджуваних у роботі полютантів зроблено на основі висновків, отриманих внаслідок власних досліджень екологічного стану долинних ландшафтів р. Сіверський Донець з урахуванням даних рентгенофазового аналізу (РФА) ґрунтів цієї місцевості та численних різнопланових літературних даних. Для прикладу взяті середні чисельні значення вмісту важких металів (ВМ) у ґрунтах, проби яких відбиралися в осінній і весняний періоди на території Зміївського району з 6 постійних і 16 контрольних точок спостереження протягом 1994 – 2004 рр., що склало з урахуванням паралельного аналізу близько 400 зразків і 10800 елемент-визначень [5-7].

Запропонована концепція систем-системних досліджень вимагає імовірно-ентропійний аналіз змін у корпоративній моделі об'єкта за схемою еколого-санітарно-гігієнічного оцінювання, яка передбачає незалежну характеристику фактичного стану системи, виникнення порушень і ймовірності формування факторів ризику (рис. 1).

За результатами імовірно-ентропійного аналізу визначається рівень відповідності стану екологічним вимогам безпеки – RR_{ekon} , ймовірність порушення за невідповідністю санітарно-гігієнічним нормам – RR_{ecol} , ентропія вірогідності трансформаційних змін у потоці надходжень в довкілля, що є основою встановлення ймовірності впливу з боку еколого-економічної системи на біологічні об'єкти і людину – RR_{soz}

з визначенням ризику екологічних зрушень $Risk = f(RR_{ekon}, RR_{soz}, RR_{ecol})$ (рис. 2).

Відповідно до застосованого імовірно-ентропійного ризик-підходу виявлені суттєві ризикові чинники джерела техногенного навантаження і ефект негативного впливу (зниження рівня здоров'я за певними видами захворювань), що є основою встановлення зв'язку між причиною екологічних порушень і медико-гігієнічними наслідками для визначення управління екологічною якістю даного об'єкта згідно з ризик-оцінкою $Risk_{soz,health} = f(RR_{ekon}, RR_{ecol})$. Для еколого-гігієнічної характеристики стану виділеної території дослідження має вигляд (рис. 3).

Запропонований комплексний підхід незалежного формування ризик-оцінки з використанням особливостей функціонування систем в корпоративному об'єкті дозволяє визначити на макрорівні пріоритети джерел виникнення негативних потоків впливу, встановити обмеження для вагомодіючого фактора небезпеки з урахуванням позитивних трансформацій і таким чином зекономити ресурси і досягти бажаного результату. При даному підході знижується необхідність жорсткого обмеження соціально-економічного розвитку, оскільки передбачено рішення правильного сполучення складових техногенної сфери, що дозволяє досягти екологічно приємної дії на зовнішнє середовище.

Реалізація даного підходу використана для оцінки екологічного стану території Дергачівського району,

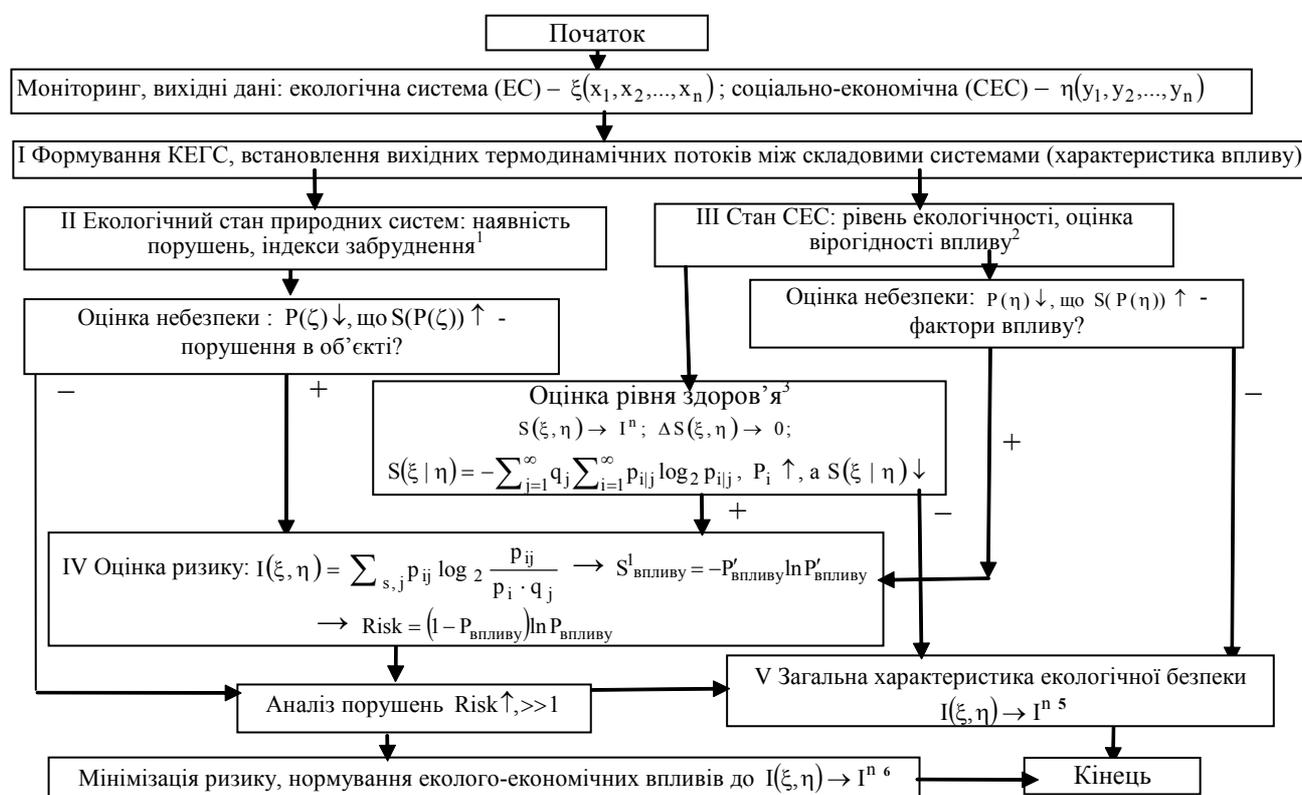


Рис. 1. Схема алгоритму оцінки стану КЕГС на основі імовірно-ентропійного підходу: ξ – випадкова величина, приймає значення (x_1, x_2, \dots, x_n) з ймовірністю (p_1, p_2, \dots, p_n) ; η – випадкова величина, приймає значення (y_1, y_2, \dots, y_m) з ймовірністю (q_1, q_2, \dots, q_m) ; p_{ij} – ймовірність сполучення подій $\xi = x_i; \eta = y_j$; S – ентропія стану систем; I^n – початковий стан; * – визначення S за умови $I^n = 0$

де фактором негативної дії на соціально-екологічну систему є полігон твердих побутових відходів. Визначення ризику екологічної небезпеки з ідентифікацією його у вигляді оцінки ризику здоров'ю здійснено на основі імовірно-ентропійного аналізу негативного впливу техногенних чинників і трансформаційних змін у речовинному потоці в межах встановленої КЕГС [3, 9].

У даній роботі запропоновано методологію оцінки екологічної безпеки відповідно до еколого-гігієнічного підходу за імовірно-ентропійним і ризик-аналізом (див. рис. 2, 3) на прикладі обробки даних комплексного моніторингу Зміївського району.

Етапність еколого-гігієнічного аналізу на основі імовірно-ентропійних характеристик відповідає послідовності реалізації алгоритму за рис. 2 з урахуванням визначення ризик-оцінок за рис. 3.

І. Формування корпоративної моделі, вихідних термодинамічних потоків: характеристика джерел впливу, дії негативного фактору, ризику зрушень

Згідно з запропонованим підходом модель аналізу надають у вигляді корпоративного утворення (рис. 4), за якою проводиться незалежна еколого-гігієнічна оцінка складових систем з метою встановлення вагомих техногенних чинників екологічних невідповідностей і створення небезпечних умов життєдіяльності для людини. За методологією еколого-гігієнічної оцінки (див. рис. 3) рівень відповідності екологічним вимогам безпеки економічної складової визначається відносною оцінкою порушень екологічної рівноваги за даними екологічного моніторингу промислово-енергетичних виробництв Зміївського району. Відповідно до аналізу надходжень техногенних елементів у природне середовище вважають небезпечними «продуктами» промислових підприємств хімічні елементи: цинк Zn, мідь Cu, кадмій Cd, ртуть Hg, свинець Pb, срібло Ag, ванадій V, олово Sn, хром Cr, нікель Ni. За інформацією дозволу ГДВ Зміївської ДРЕС і паспортними даними району визначено перелік надходжень забруднюючих речовин у ґрунти середньої течії р. Сіверський Донець як продуктів техногенезу певних виробництв [10]:

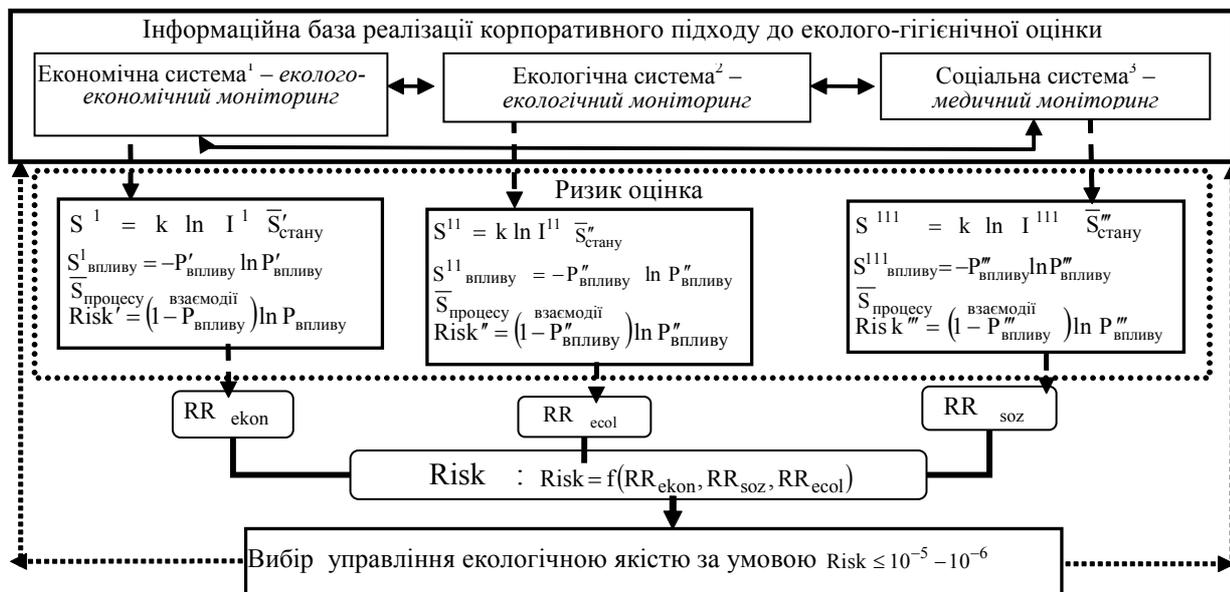


Рис. 2. Схема імовірно-ентропійного ризик аналізу стану систем-системних об'єктів:
 \longleftrightarrow – термодинамічні зв'язки в об'єкті дослідження, \dashrightarrow – інформаційні зв'язки,
 $\cdots \dashrightarrow$ – інформаційно-управляючі зв'язки



Рис. 3. Схема імовірно-ентропійної ризик-оцінки еколого-гігієнічного гомеостазу об'єкта

- 1) виробництво енергії вугільними ТЕС – Se, As (стоки), Zn, Hg ;
- 2) стоки, побутові відходи –
Zn, Cu, Cd, Hg, Pb, Ag, Bi, Mo, Cr ;
- 3) транспорт – Zn, Pb ;
- 4) машинобудівні виробництва – V, Hg, Ag ;
- 5) виробництва залізобетонних конструкцій – V, Pb ;
- 6) землеробство – Zn, Cu, Pb, As, Co .

За даними екологічного паспорту Зміївського району серед поширених інгредієнтів при екологічному спостереженні за станом атмосферного повітря названі PbO і зола, яка є продуктом спалювання вугілля і містить переважно неорганічні інгредієнти [11]. Таким чином, визначені складові техногенного потоку надходжень в еколого-соціальну складову КЕГС.

II. Екологічний стан природних систем: оцінка забруднення, екологічний ризик

1) Для ґрунтів як індикаторної екосистеми розраховані за допомогою Microsoft Office Excel 2003 індекси забрудненості I_Z інгредієнтів техногенних надходжень, які взяті за основу для імовірнісної оцінки порушень екологічної безпеки на дослідженій території (P) (проаналізовані усереднені значення концентрацій хімічних елементів у шести точках спостережень за період 1999-2009 рр.) (табл.1):

$$I_Z = C_i / ГДК_i , \quad (1)$$

де C_i – фактична концентрація i -го елемента забруднюючого потоку; $ГДК_i$ – граничнодопустима концентрація i -го елемента забруднюючого потоку.

2) Згідно зі схемою рис.3 (2) визначають ймовірності відхилення поточного значення усередненого значення I_Z для зазначених вище хімічних елементів від

Таблиця 1

Розраховані індекси забруднення ґрунтів ВМ відповідно до їх фонових значень

Місце відбору проб	Фація зниженої ділянки центральної заплави	Фація вирівної ділянки центральної заплави	Фація заболоченого сторичного зниження	Фація високої заплави при-терасового шву борової тераси	Фація центральної заплави, 30м від води	Фація верхньої частини кучугур борової тераси
Zn (цинк)	0,67	1,02	1,14	0,27	0,92	0,78
Co (кобальт)	0,88	0,69	0,50	0,63	1,25	0,63
Ni (нікель)	8,70	4,35	1,30	0,26	4,35	0,57
Pb (свинець)	3,00	1,10	3,00	1,20	3,00	1,40
Sr (стронцій)	1,28	0,85	0,73	0,40	1,77	0,54
Cu (мідь)	2,17	2,22	3,04	1,30	2,17	1,61
Cr (хром)	2,13	2,13	2,13	0,64	2,13	1,06
V (ванадій)	2,38	2,38	2,38	1,67	2,55	1,21
Mo (молібден)	1,61	1,61	1,29	1,61	3,23	1,61

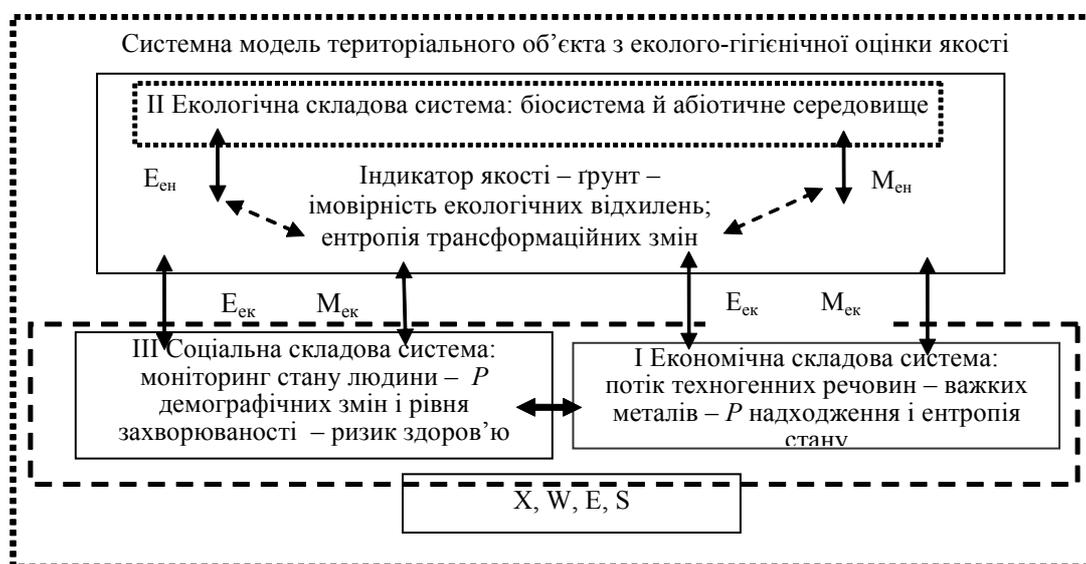


Рис. 4. Схема аналітичної моделі оцінки еколого-гігієнічної якості довкілля (модель КЕГС)

мінімально зафіксованого за формулами (розрахунки виконані у MathCAD 11):

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{\text{lenght}(X)-1} (X_i - 1)^2}{\text{lenght}(X) - 1}}, \quad (2)$$

$$P(X, x_1, x_2) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \sigma(X)} \times \left[\begin{aligned} & \frac{-1}{2} \cdot \text{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-x_2 + \min(X))}{\sigma(X)}\right) \frac{\pi^1}{2} \times \\ & \times \sqrt{2} \sigma(X) + \frac{1}{2} \cdot \text{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-x_1 + \min(X))}{\sigma(X)}\right) \times \\ & \times \frac{\pi^1}{2} \sqrt{2} \sigma(X) \end{aligned} \right]$$

де X – значення ІЗ у просторі визначень; $x_1 = \text{mean}(X)$, $x_2 = \text{max}(X)$ – відповідно середнє і максимальне значення ІЗ для інгредієнта надходжень (міграційно-трансформаційного техногенного потоку).

Відповідно до імовірнісної оцінки порушень екологічної безпеки на дослідженій території (P) аналізують прогностні трансформаційні зміни у потоці ВМ ґрунту (3) рис. 3) у вигляді розрахованої ентропії порушень виду: $S(P) = \ln P(X, x_1, x_2)$.

Таким чином, формують інформаційну основу для оцінки ризику впливу ($RR_{\text{екон}}$) (табл. 2).

Встановлено, що важкі метали, потрапляючи у ґрунт у вигляді оксидів, сульфідів, елементної форми, у ґрунтовому розчині переходять в іонні форми: Zn^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , CrO_4^{2-} , $Cr_2O_7^{2-}$, VO_3^- , $V_2O_7^{4-}$, VO_4^{3-} , створюючи так званий хіміко-трансформаційний потік. Структура (W) і співвідношення макроречовин ($x \in X$) у ґрунті створюють певне рН середовища, що регулює міграційні можливості поллютантів за рахунок процесів утворення малорозчинних сполук, ймовірність появи яких визначена відповідно до термодинамічного аналізу за апріорною інформацією і значеннями (високо від’ємними) ентропії і підтверджена РФА [7, 8]. Акумулятивна здатність макроскладу ґрунтів виявляється відносно катіоногенів, оскільки частинки ґрунту мають від’ємний заряд.

«Активна» негативна дія на екологічний стан довкілля техногенних елементів визначається оцінкою техногенного впливу на еколого-соціальну складову КЕГС ($RR_{\text{екол}}$) ((4) рис. 3).

Ризик дії забруднюючого елемента визначається на основі оцінки інформаційної ентропії:

$$\text{Risk} = S = -P(X, x_1, x_2) \cdot \ln[P(X, x_1, x_2)]. \quad (3)$$

3) Величина ризику впливу (Risk) пов’язана з імовірністю відхилення техногенного навантаження від допустимих нормативних значень ($PP(X, x_1, x_2)$), що визначається відповідно концентрації надходжень речовин їх ГДК (див. формулу 1), і розраховується відповідно до інформаційної ентропії (SS) за такими формулами:

$$\text{Risk} = SS = -PP(X, x_1, x_2) \cdot \ln[PP(X, x_1, x_2)], \quad (4)$$

$$PP(X, x_1, x_2) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \sigma(X)} \times \left[\begin{aligned} & \frac{-1}{2} \cdot \text{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-x_2 + 1)}{\sigma(X)}\right) \times \\ & \times \frac{\pi^1}{2} \sqrt{2} \sigma(X) + \frac{1}{2} \cdot \text{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{(-x_1 + 1)}{\sigma(X)}\right) \times \\ & \times \frac{\pi^1}{2} \sqrt{2} \sigma(X) \end{aligned} \right]$$

де $x_1 = \min(X)$ – мінімальне значення ІЗ.

Таким чином, еколого-економічна імовірнісно-ентропійна ризик-оцінка якості навколишнього середовища надається у вигляді такої результируючої таблиці визначень (табл. 3, рис. 5).

Апріорі відповідно до значень $S(P)$ встановлена вірогідність взаємозв’язку між катіоногенами і аніоногенами у термодинамічному потоці, що відповідає самовільному перебігу процесів з утворенням нерозчинних сполук в геохімічному середовищі [10, 11].

Імовірнісно-ентропійні розрахунки підтверджуються аналітичними результатами обробки даних (Statistica 6.0 (рис. 5)) і аналізом фазового стану ґрунтів [6–8].

Аніоногенні форми важких металів за експериментальними даними РФА утворюють оксидовмісні кислотні залишки, що здатні поєднуватися з катіонами

Таблиця 2

Імовірнісно-ентропійна оцінка порушень природного стану ґрунту за рівнем впливу ВМ

Елементи ідентифікації забруднення	Індекси забруднення ґрунту, ІЗ	Імовірність відхилення від мінімально встановленого впливу P	Ентропійна оцінка стану ВМ у міграційному потоці S(P)
Zn	0,67; 1,02; 1,14; 0,27; 0,92; 0,78	0,062	-2,78
Co	0,88; 0,69; 0,5; 0,63; 1,25; 0,63	0,193	-1,644
Ni	8,7; 4,35; 1,3; 0,26; 4,35; 0,57	0,188	-1,674
Pb	3,0; 1,1; 3,0; 1,2; 3,0; 1,4	0,129	-2,047
Sr	1,28; 0,85; 0,73; 0,40; 1,77; 0,54	0,133	-2,02
Cu	2,17; 2,22; 3,04; 1,3; 2,17; 1,61	0,161	-1,84
Cr	2,13; 2,13; 2,13; 0,64; 2,13; 1,06	0,068	-2,689
V	2,38; 2,38; 2,38; 1,67; 2,55; 1,21	0,085	-2,46
Mo	1,61; 1,61; 1,29; 1,61; 3,23; 1,61	0,243	-1,413

металів і утворювати нерозчинні солі, які акумулюються в ґрунтах і зменшують міграційні здатності техногенних елементів: $Zn_2V_2O_7$, $Zn_3(VO_4)_2$, $Zn(VO_3)_2$, $Pb(VO_3)_2$, $4PbOxV_2O_5$, $Pb_3(VO_4)_2$, $PbCrO_4$, $PbCr_2O_7$, $SrCrO_4$, $SrCr_2O_7$, $Sr(VO_3)_2$, $Ni_2V_2O_7$ [7, 8].

Regression Summary for Dependent Variable: Zn (Soils3.sta)						
R= ,99902747 R²= ,99805589 Adjusted R²= ,99416768						
F(2,1)=256,69 p<,04409 Std.Error of estimate: ,01608						
N=4	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(1)	p-level
Intercept			0,02524	0,02076	1,2154	0,43828
Cr	1,38033	0,09053	1,70685	0,11195	15,2460	0,04169
V	-0,46655	0,09053	-0,84839	0,16463	-5,1531	0,12202

Regression Summary for Dependent Variable: Ni (Soils3.sta)						
R= ,95071851 R²= ,90386569 Adjusted R²= ,85579854						
F(1,2)=18,804 p<,04928 Std.Error of estimate: ,04580						
N=4	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(2)	p-level
Intercept			0,15592	0,04697	3,31963	0,08000
Cr	0,95071	0,21924	0,67358	0,15533	4,33638	0,04928

Regression Summary for Dependent Variable: Pb (Soils3.sta)						
R= ,97229308 R²= ,94535383 Adjusted R²= ,83606148						
F(2,1)=8,6498 p<,23377 Std.Error of estimate: 20,787						
N=4	Beta	Std. Err. of Beta	B	Std. Err. of B	t(1)	p-level
Intercept			251,67	74,030	3,3994	0,18213
Cu	-2,0220	1,01986	-1210,2	610,394	-1,9826	0,29738
V	1,1135	1,01986	493,81	452,268	1,0918	0,47206

Рис. 5. Результати статистичного аналізу взаємовпливу вмісту катіоногенів і аніоногенів у ґрунтах

Таким чином, більш вагомими чинниками впливу на складові екологічної системи і через них на людину за результатами оцінки якості території з аналізу ризик-факторів (шкала ризик-оцінки [12] для аналізу ймовірності впливу) мають бути Co, Sr, Cu, Mo (табл. 4).

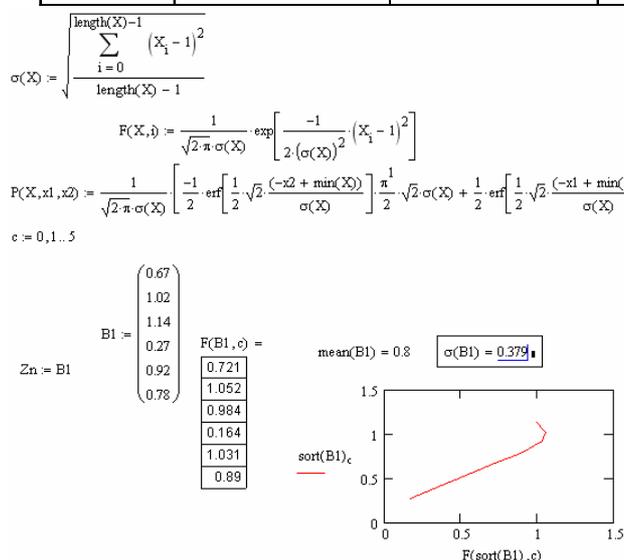
III. Еколого-гігієнічна оцінка території: оцінка вірогідності впливу², ризику здоров'ю населення.

Відповідно до даних медико-гігієнічного моніторингу за період 1999-2009 рр. проаналізовані такі демографічні показники та захворюваність (на 100 тисяч населення) серед населення Зміївського району: населення всього (Var1); народжуваність (Var2); смертність (Var3); природний приріст (Var4); рівень малюкової смертності (на 1000 дітей, народжених живими) (Var5); смертність від злоякісних новоутворень (на 100 тисяч) (Var6); захворюваність на злоякісні новоутворення (Var7); захворюваність на хронічний пієлонефрит (Var8); захворюваність на камені нирок і сечоводів (Var9); захворюваність на хвороби органів травлення (Var10); захворюваність на атеросклероз (Var11); захворюваність на гіпертонічну хворобу (Var12); захворюваність на хвороби органів дихання (Var13); інфекційні захворювання: гострі кишкові захворювання всього (Var14), дизентерія (Var15), вірус-

Таблиця 3

Результати комплексної еколого-гігієнічної оцінки стану ґрунту і екологічного ризику

Елементи ідентифікації	Імовірність відхилення від мінімально встановленого впливу P	Ентропійна оцінка стану ВМ у міграційному потоці S(P)	Ризик дії забруднюючого елемента, оцінка інформаційній ентропії S (RR _{ekon})	Імовірність відхилення техногенного навантаження від допустимих нормативних значень PP	Екологічний ризик SS (RR _{ecol})
Zn	0,062	-2,78	0,172	0,547	0,33
Co	0,193	-1,644	0,318	0,641	0,31
Ni	0,188	-1,674	0,314	0,481	0,352
Pb	0,129	-2,047	0,264	0,332	0,366
Sr	0,133	-2,02	0,268	0,717	0,239
Cu	0,161	-1,84	0,294	0,309	0,363
Cr	0,068	-2,689	0,183	0,445	0,36
V	0,085	-2,46	0,21	0,282	0,357
Mo	0,243	-1,413	0,344	0,332	0,366



$$PP(X, x1, x2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(X)} \left[\frac{-1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{(-x2 + 1)}{\sigma(X)}\right] \frac{\pi}{2} \sqrt{2}\sigma(X) + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{1}{2}\sqrt{2} \frac{(-x1 + 1)}{\sigma(X)}\right] \frac{\pi}{2} \sqrt{2}\sigma(X) \right]$$

x2 = max(B1) x2 = 1,14 x1 = mean(B1) x1 = 0,8 σ(B1) = 0,379

F(B1, x1, x2) = 0,062 S1 = -P(B1, x1, x2) · ln(P(B1, x1, x2)) S12 = -ln(P(B1, x1, x2))

ln(P(B1, x1, x2)) = -2,78 S1 = 0,172 S12 = 2,78

x11 = min(B1) x11 = 0,27 PP(B1, x11, x2) = 0,547

SS = -PP(B1, x11, x2) · ln(PP(B1, x11, x2)) SS = 0,33

ний гепатит (Var16); шкірні хвороби: дерматомікози (Var17); короста (Var18).

Аналіз стану соціальної системи, ідентифікований за рівнем здоров'я населення, відповідно до тісноти зв'язку між показниками захворюваності та змінами чисельності населення показав, що демографічні зміни (Var1) суттєво залежать від рівня смертності від злоякісних новоутворень (Var6) і захворюваності на хвороби органів травлення (Var10) (рис. 6).

Correlations (Spreadsheet1)																		
Marked correlations are significant at p < .05000																		
N=11 (Casewise deletion of missing data)																		
Var1	Var2	Var3	Var4	Var5	Var6	Var7	Var8	Var9	Var10	Var11	Var12	Var13	Var14	Var15	Var16	Var17	Var18	
Var1	1,0	-0,9	-0,8	-0,6	0,2	0,8	-0,4	-0,7	-0,9	0,6	-0,7	-0,7	-0,9	-0,5	-0,1	0,8	-0,8	-0,4
Var2	-0,9	1,0	0,6	0,8	-0,1	-0,7	0,4	0,5	0,8	-0,7	0,6	0,6	0,7	0,6	0,2	-0,7	0,7	0,3
Var3	-0,8	0,6	1,0	0,1	-0,0	-0,7	0,4	0,8	0,7	-0,6	0,8	0,8	0,8	0,3	0,0	-0,8	0,7	0,3
Var4	-0,6	0,8	0,1	1,0	-0,1	-0,4	0,1	0,0	0,5	-0,5	0,2	0,3	0,4	0,6	0,3	-0,3	0,3	0,1
Var5	0,2	-0,1	-0,0	-0,1	1,0	0,2	0,2	-0,2	-0,0	-0,0	-0,1	-0,2	-0,0	0,2	0,3	-0,2	0,0	-0,4
Var6	0,8	-0,7	-0,7	-0,4	0,2	1,0	-0,3	-0,8	-0,9	0,5	-0,9	-0,8	-0,9	-0,5	0,0	0,6	-0,7	-0,9
Var7	-0,4	0,4	0,4	0,1	0,2	-0,3	1,0	0,3	0,4	-0,3	0,4	0,0	0,3	0,2	-0,1	-0,6	0,4	-0,1
Var8	-0,7	0,5	0,8	0,0	-0,2	-0,8	0,3	1,0	0,7	-0,5	0,9	0,8	0,8	0,1	-0,2	-0,7	0,7	0,4
Var9	-0,9	0,8	0,7	0,5	-0,0	-0,9	0,4	0,7	1,0	-0,6	0,8	0,8	0,9	0,5	0,0	-0,8	0,9	0,5
Var10	0,6	-0,7	-0,6	-0,5	-0,0	0,5	-0,3	-0,5	-0,6	1,0	-0,5	-0,6	-0,5	-0,4	-0,2	0,6	-0,4	0,1
Var11	-0,7	0,6	0,8	0,2	-0,1	-0,9	0,4	0,9	0,8	-0,5	1,0	0,8	0,9	0,4	-0,0	-0,7	0,8	0,5
Var12	-0,7	0,6	0,8	0,3	-0,2	-0,8	0,0	0,8	0,8	-0,6	0,8	1,0	0,8	0,4	0,0	-0,6	0,8	0,5
Var13	-0,9	0,7	0,8	0,4	-0,0	-0,9	0,3	0,8	0,9	-0,5	0,9	0,8	1,0	0,4	0,1	-0,8	0,9	0,5
Var14	-0,5	0,6	0,3	0,6	0,2	-0,5	0,2	0,1	0,5	-0,4	0,4	0,4	1,0	0,4	-0,3	0,5	0,2	0,2
Var15	-0,1	0,2	0,0	0,3	0,3	0,0	-0,1	-0,2	0,0	-0,2	0,0	0,1	0,4	1,0	-0,1	0,0	-0,1	0,1
Var16	0,8	-0,7	-0,8	-0,3	-0,2	0,6	-0,6	-0,7	-0,8	0,6	-0,7	-0,6	-0,8	-0,3	-0,1	1,0	-0,8	-0,0
Var17	-0,8	0,7	0,7	0,3	0,0	-0,7	0,4	0,7	0,9	-0,4	0,8	0,8	0,9	0,5	0,0	-0,8	1,0	0,4
Var18	-0,4	0,3	0,3	0,1	-0,4	-0,5	-0,1	0,4	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	0,2	-0,1	-0,0	0,4	1,0

Рис. 6. Аналіз демографічних показників і захворюваності

Аналіз залежності кількості населення **Var1**, народжуваності **Var2** і смертності **Var3** від окремих видів захворювання показав, що у регресійних функціях для цих демографічних характеристик суттєвими є хвороби органів травлення **Var6** і смертність від злоякісних новоутворень **Var4** (рис. 7) [10].

Regression Summary for Dependent Variable: Var1 (Spreadshe						
R= ,97357420 R²= ,94784672 Adjusted R²= ,93557535						
F(4,17)=77,241 p<,00000 Std.Error of estimate: 677,26						
N=22	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(17)	p-level
Intercept			110041,2	4072,244	27,02226	0,000000
Var2	-0,711715	0,076459	-1367,1	146,862	-9,30849	0,000000
Var3	-0,329632	0,076284	-1087,7	251,722	-4,32110	0,000463
Var4	0,399781	0,181742	10,2	4,656	2,19972	0,041948
Var6	-0,408471	0,181715	-0,8	0,334	-2,24787	0,038144

Regression Summary for Dependent Variable: Var3 (Sdorov.sta						
R= ,61921930 R²= ,38343254 Adjusted R²= ,28067130						
F(3,18)=3,7313 p<,03022 Std.Error of estimate: ,68581						
N=22	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(18)	p-level
Intercept			18,99939	0,233737	81,28529	0,000000
Var4	-0,42708	0,607349	-0,00332	0,004716	-0,70319	0,490935
Var6	-1,01532	0,692227	-0,00057	0,000386	-1,46674	0,159700
Var7	1,39563	0,435079	0,00006	0,000020	3,20776	0,004879

Regression Summary for Dependent Variable: Var2 (Sdorov.sta)						
R= ,74601610 R²= ,55654003 Adjusted R²= ,48263003						
F(3,18)=7,5300 p<,00181 Std.Error of estimate: ,99918						
N=22	Beta	Std.Err. of Beta	B	Std.Err. of B	t(18)	p-level
Intercept			-6,54984	6,466111	-1,01295	0,324508
Var3	0,455914	0,197204	0,78323	0,338782	2,31189	0,032828
Var6	-0,872147	0,458865	-0,00084	0,000439	-1,90066	0,073483
Var7	0,837437	0,455447	0,00007	0,000036	1,83871	0,082516

Рис. 7. Аналіз динаміки змін захворюваності

Отже, ризик порушень екологічної рівноваги при наявності збільшеної кількості не задіяних у трансформаційних процесах важких металів (табл. 5), ідентифікованих за їх наявністю у ґрунті, оцінюється як се-

Таблиця 4

Результати імовірнісного ризик-аналізу на основі динаміки змін захворювання

Динаміка змін захворюваності на одиницю населення (кількість захворювань/населення всього)			
Смертність від новоутворень		Захворювання органів травлення	Захворювання органів дихання
0,0030		0,0407	0,3741
0,0028		0,0418	0,3814
0,0030		0,0550	0,3825
0,0024		0,0343	0,3400
0,0030		0,0315	0,3871
0,0021		0,0369	0,4634
0,0014		0,0369	0,5203
0,0018		0,0357	0,5010
0,0017		0,0364	0,5086
0,0021		0,0260	0,5047
0,0019		0,0275	0,5256
Ентропійна ризик-оцінка здоров'я		S11=2,935	S31=2,831
Ризик здоров'ю за видом захворювання		Risk1=0,972	Risk3=0,983
Оцінка ризику*		Критичний	Критичний

Примітка: * – відповідно до [12]: 0,6–0,8 – максимальний ризик; 0,8–1,0 – критичний ризик

Таблиця 5

Визначення ризику впливу на здоров'я населення

Елементи забруднення	Індекси забруднення ґрунту, IZ	Ризик дії забруднюючого елемента, оцінка інформаційної ентропії S (RR _{ekon})	Екологічний ризик SS (RR _{ecol})	Оцінка ризику [12]
Co	0,88; 0,69; 0,5; 0,63; 1,25; 0,63	0,318	0,31	0,3–0,4 – середній ризик (наявність дії чи трансформаційних змін) 0,4–0,6 – високий ризик
Ni	8,7; 4,35; 1,3; 0,26; 4,35; 0,57	0,314	0,352	
Cu	2,17; 2,22; 3,04; 1,3; 2,17; 1,61	0,294	0,363	
Mo	1,61; 1,61; 1,29; 1,61; 3,23; 1,61	0,344	0,366	

редній ризик, що визначає вплив на стан здоров'я населення на території Зміївського району, ідентифікований як ризик здоров'ю за тією ж шкалою як критичний ризик.

Ризик виникнення демографічних порушень у соціальній сфері був пов'язаний з реалізацією певного ризику зростання хвороб від зафіксованого мінімуму та імовірності відхилення від цієї межі зі зміною ризику екологічних зрушень (формула (2)), ентропійної ризик-оцінки щодо вірогідності змін здоров'я за даним видом хвороб на демографію території (S_{nl}) і ризику реалізації хвороби за імовірністю підвищення її рівня від мінімально реалізованого (відношення фактичного значення до мінімально зафіксованого рівня) (формула (4)) (Risk):

$$S_{nl} = -\ln(P(Y, y1, y2)); \quad Risk = -\ln(PP(Y, y1, y2)). \quad (5)$$

Остаточні результати зведені в табл. 4 і підтверджуються даними досліджень санітарно-гігієнічної якості даної території промислово-енергетичного впливу санітарних служб [11]. Оцінка ризику здоров'ю і рівень небезпеки встановлювалися відповідно до шкали за даними авторів [12].

3. Висновки

Аналіз одержаних результатів показав доцільність використання для еколого-гігієнічної оцінки якості довкілля моделі об'єкта дослідження у вигляді корпоративного систем-системного утворення, що дозволяє на основі імовірнісно-ентропійного ризику аналізу встановити порушення еколого-гігієнічної рівноваги в соціально-еколого-економічній системі, вірогідність трансформаційних процесів щодо зменшення небезпеки і таким чином визначити пріоритетні напрямки регулювання гомеостатичних зв'язків між системами навколишнього середовища. Запропонована методологія комплексної оцінки якості довкілля за еколого-гігієнічними показниками (див. рис. 1-3) надала можливість:

- 1) встановити етапність оцінювання рівня екологічності функціонування об'єкта дослідження з визначенням напрямків трансформації забруднювачів у навколишньому середовищі ((1)-(4), рис. 4-6);
- 2) визначити чинники негативних екологічних зрушень за імовірнісно-ентропійним аналізом і чинники впливу на здоров'я дослідженої території;
- 3) встановити кількісну еколого-гігієнічну комплексну оцінку техногенно-навантаженої території відповідно до ризику здоров'ю з урахуванням впливу безпосередньо розглянутого джерела порушення санітарно-гігієнічних вимог.

4. Новизна отриманих результатів

У роботі вперше визначено:

- 1) поняття корпоративної еколого-гігієнічної моделі системи як моделі санітарно-еколого-гігієнічної оцінки якості об'єктів навколишнього середовища;

2) основи впровадження імовірнісно-ентропійної оцінки з оцінки ризику здоров'ю населення в умовах техногенного навантаження з метою прийняття оптимального екологічного рішення.

Література: 1. Сердюк А. М. Етичні основи еколого-гігієнічних проблем України / А. М. Сердюк // Мед. перспективи. 2006. №3. С. 26–32. 2. Сердюк А. М. Екологічна безпека: гігієнічний погляд через роки / А. М. Сердюк // Мед. перспективи. 2007. №4. С. 4–7. 3. Козуля Т. В., Ємельянова Д. І. Система підтримки прийняття екологічного рішення в умовах концепції КЕС і новітніх технологій екологічного аналізу / Т. В. Козуля, Д. І. Ємельянова // Вестник Херсонського національного технічного університету. 2010. №2 (38). С. 285–293. 4. Козуля Т. В. Розробка теоретичних засад впровадження концепції корпоративної екологічної системи / Т. В. Козуля // Проблеми інформаційних технологій. 2009. №2 (006). С. 130–140. 5. Козуля Т. В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи / Т. В. Козуля. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. 588 с. 6. Козуля Т. В. Хіміко-трансформаційні особливості поведінки важких металів у ґрунтах природних і урболандшафтів / Т. В. Козуля, Л. В. Глушкова, З. В. Штительман // Вісник Харківського національного університету. Геологія-Географія-Екологія. Харків, 2003. №610. С. 160–167. 7. Козуля Т. В. Екологічна оцінка стану ґрунтів і моделювання фізико-хімічних процесів у системі екологічного моніторингу / Т. В. Козуля, Л. В. Глушкова, П. В. Матейченко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. 2006. №2(6). С. 94–99. 8. Козуля Т. В. Особливості розповсюдження і поведінки важких металів у ґрунтах природних і урболандшафтів (на прикладі викидів Зміївської ТЕС) / Т. В. Козуля, А. Б. Бланк, Л. В. Глушкова // Екотехнології та ресурсосбереження. Научно-технический журнал. Київ: Інститут газу НАН України, 2005. №2. С. 51–55. 9. Козуля Т. В. Формування еколого-гігієнічних підходів до визначення оцінки ризику здоров'ю на корпоративній основі / М. Г. Щербань, Т. В. Козуля, О. А. Шевченко // Експериментальна і клінічна медицина. ХМУ, 2009. №2. С. 153–156. 10. Козуля Т. В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи / Т. В. Козуля. Харків: НТУ «ХПІ», 2010. 588 с. 11. Кратенко І. С. Санітарно-гігієнічна характеристика стану оточуючого середовища в зоні впливу Зміївської ТЕС / І. С. Кратенко, Л. М. Мовчан, Т. Ф. Сотнікова // Епідеміологія, екологія, гігієна: Сб. мат. 6-й итоговой регион. научно-практ. конф / Харьковская областная санэпидстанция. Харьков, 2003. С. 90–91. 12. Лапуста М. Г. Риски в предпринимательской деятельности / М. Г. Лапуста, Л. Г. Шаршукова. М.: ИНФРА-М, 1996. 224 с.

Надійшла до редколегії 14.02.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Шаронова Н.В.

Козуля Тетяна Володимирівна, канд. геогр. наук, доцент кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики НТУ «ХПІ». Наукові інтереси: складні системи, синергетика і термодинамічний аналіз соціально-еколого-економічних систем, екологічний моніторинг. Адреса: Україна, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 12, тел. 8-057-707-64-74; 8-057-707-65-05. Дом. адрес: м. Харків, 61142, пр. Тракторобудівників 128-А, кв. 79, тел.; 8-057-713-51-89, e-mail: kozulia@kpi.kharkov.ua

М'ясоєдов Володимир Володимирович, д-р мед. наук, проф., проректор з наукової роботи Харківського національного медичного університету. Наукові інтереси: тео-

рія еколого-гігієнічного моніторингу, санітарія і гігієна навколишнього середовища, профілактична медицина. Адреса: Україна, 61000, Харків, пр. Леніна, 6, тел. 8-057-707-72-04

Щербань Микола Гаврилович, д-р мед. наук, проф., заст. проректора з наукової роботи Харківського національного медичного університету. Наукові інтереси: еколого-гігієнічний моніторинг, санітарія і гігієна навколишнього

середовища. Адреса: Україна, 61000, Харків, пр. Леніна, 6, тел. 8-057-707-72-04.

Козуля Марія Михайлівна, студентка кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики НТУ «ХП». Наукові інтереси: системний аналіз, екологічний моніторинг. Адреса: Україна, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 12, тел. 057-707-65-05.

УДК004.89:528:519.816

АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ ТЕСТОВЫХ НАБОРОВ ВЕКТОРНЫХ И РАСТРОВЫХ ДАННЫХ

БЕЛЬЧЕВА А.В., МАНАКОВА Н.О.

Рассматривается реализация алгоритма генерации случайного набора векторных и растровых данных. Полученный тестовый набор данных может быть использован для исследования эффективности методов обработки и анализа пространственных данных.

Введение

На первых этапах проектирования ГИС систем разработчик производит выбор программного обеспечения. Такая задача является достаточно сложной, что обусловлено многообразием программных средств, и ответственной, ведь от этого зависит стоимость и время, которое необходимо на реализацию проекта. Выбор программного обеспечения тесно связан с его инструментальными возможностями, сложенная работа которых определяет весь спектр доступных методов организации, моделирования и анализа пространственных данных.

Разработчику необходимо ознакомиться с пакетом, выяснить, как осуществляется ввод, хранение информации, возможность реализации сложных запросов, пространственного анализа данных и многое другое. Для знакомства с программой необходим набор данных, чтобы освоить и протестировать возможности системы. Кроме того, для проведения экспериментов и исследований, связанных с обработкой и анализом информации, очень полезен тестовый материал.

Подобный набор экспериментальных данных должен соответствовать используемым моделям для проектирования ГИС. Входные данные проекта могут быть представлены с помощью разных моделей. Модель данных в геоинформационной системе представляет собой синтез географической (цифровые карты, снимки спутников) и атрибутивной информации. Такой набор поможет эффективно освоить принципы работы программы, полноценно использовать все возможности средств обработки и анализа информации.

Целью исследования является модификация алгоритма генерации случайных полигонов. *Задачи:* программная реализация алгоритма, введение входных аргументов (обеспечит возможность создание тестового информационного пространства ГИС с учетом требований пользователя), формирование тестового

информационного пространства в растровом и векторном формате.

1. Анализ последних достижений и публикаций

Для исследования эффективности работы некоторых алгоритмов требуется серия пространственных данных, в которой может проследиваться динамика, ритм, развитие состояния объектов наблюдения. Как правило, в такого рода исследованиях ученые пользуются входными данными, которые можно приобрести у поставщиков рынка гео-данных [1]. При этом результаты эксперимента зависят не только от логики подбора материала, но и от его стоимости, формата, качества, сложности заказа и доставки, сроков изготовления и многих других факторов [2]. На сегодняшний момент активно развиваются ресурсы свободного доступа и использования пространственных данных [3]. Однако время, потраченное на поиск и подбор нужного количества тестового материала, зачастую превышает время проведения самого эксперимента, ведь эффективность работы некоторых методов можно выявить только на достаточно большом статистическом материале.

Исходные данные для отладки работы алгоритмов могут задаваться разными способами. Если тестовый набор задавать вручную, то нужно на этапе проектирования заранее предвидеть все нюансы поставленной задачи. Число испытаний в таком случае будет минимально, поэтому входные аргументы должны обеспечить проверку работы по всем ветвям алгоритма. Сложность такого способа формирования выборки заключается не только в умении предвидеть и смоделировать все возможные варианты динамики состояний исследуемых объектов, но и в окончательном результате – можно ли гарантировать правильность работы алгоритма для любого набора данных. Если же тестовый набор данных задать случайным образом, это позволит увеличить количество испытаний и достоверность работы алгоритма в целом. Случайные наборы исходных данных с возможностью изменять параметры ритма, динамики состояния объектов помогут обнаружить ошибки работы алгоритма вычислительного характера. Используя алгоритмы генерирования случайных полигонов можно получить тестовый набор для апробации методов обработки и анализа пространственных данных.

2. Материалы и результаты исследования

Суть алгоритма генерации произвольного набора данных в использовании случайных величин: для определения количества и расположения точек на плоскости (плотность и координаты центра полигонов) количе-

ство вершин и расстояние от центра фигуры до вершин [4].

Для генерации набора векторных данных вначале задается размер плоскости. Плоскость делится на набор секторов, в каждом из которых может формироваться фигура. Степень заполнения плоскости полигонами зависит от величин в матрице, ячейки которой связаны с секторами. Эти величины задаются случайным образом, поэтому новый набор данных будет всегда отличаться от предыдущего. Определив активные секторы (в которых будут сформированы фигуры), можно приступить к генерации случайного полигона в рамках каждой ячейки. Центром полигона выбираем центр ячейки, из которого случайным образом задаем произвольное количество лучей с произвольным направлением. На каждом луче откладываем отрезок произвольной длины, таким образом получая вершины полигона. Соединяем вершины между собой замкнутой ломаной относительно центра фигуры в направлении по или против часовой стрелки. Выбранный обход вершин не позволит ребрам пересекаться.

Таким образом, можно получить наборы векторных данных с полигонами различной формы.

Алгоритм генерации случайных полигонов можно представить в виде схемы (рис. 1). Входными аргументами функции «Poly», реализующей алгоритм, будет «Size» – размер поля данных, «Density» – значение плотности полигонов на плоскости, «Crossing» – степень пересечения (наложения) фигур относительно друг друга.

Данный алгоритм реализован в программном приложении Matlab. Для дальнейшего удобства использования создана функция, которую можно вызывать из командной строки системы Matlab или непосредственно из файлов (М-файлов). Для корректной работы функции необходимо указать входные аргументы. Расчет и запись результатов произойдет автоматически. Такой подход облегчит работу пользователя при создании наборов тестовых данных, предоставит возможность легкого использования этого алгоритма в собственных исследованиях.

Функция «Poly» генерирует векторный набор данных в доли секунды. Позволяет автоматически сохранять результаты работы алгоритма (набор данных в векторном и растровом формате) с атрибутивными данными – координатами вершин полигонов.

Входные аргументы функции позволяют создать набор данных с учетом требований пользователя. Значение матрицы – «Size», которое определяет размер поля исходной выборки, может быть задано произвольно. Для реализации алгоритма выбрана квадратная форма матрицы, отсюда ее размер – «Size», задается одной величиной. Максимальное количество фигур имеет квадратную зависимость от размеров матрицы. Размер поля практически не влияет на скорость работы алгоритма, создаваемый векторный мас-

сив данных мгновенно обновляется в окне программы.

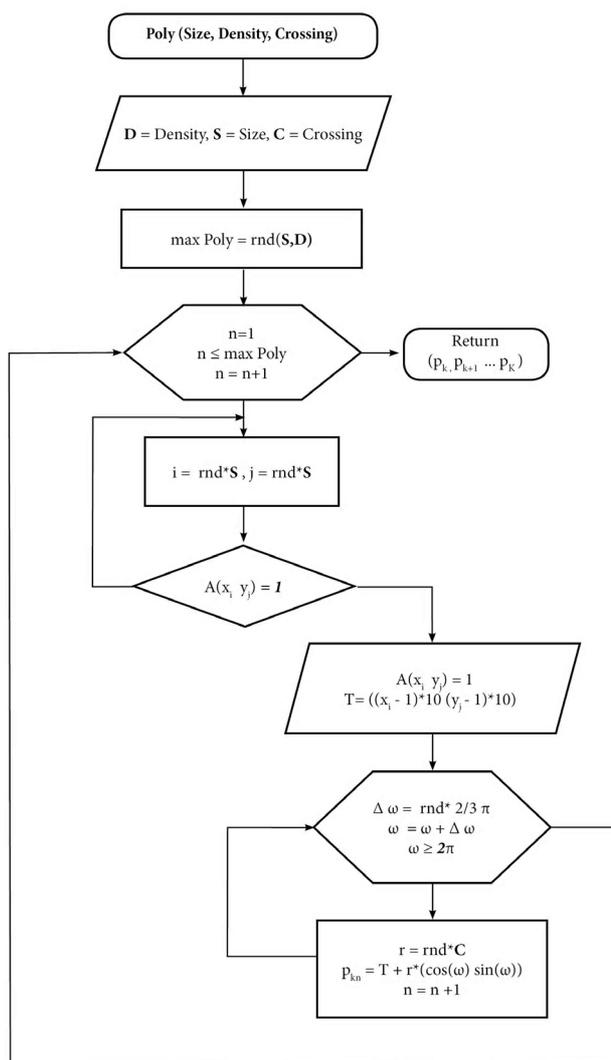


Рис. 1. Алгоритм генерации векторных данных

Такой параметр как «Density» – плотность размещения полигонов задается в пределах интервала от единицы до десяти. Максимальное значение соответствует наиболее плотному размещению фигур на плоскости.

Положение полигонов относительно друг друга зависит от значений координат вершин. Поиск вершин фигуры начинается с центральной точки ячейки. Так как размер ячейки – десять на десять, то интервал, в котором задается вершина, от нуля до пяти. В этом случае полигоны не будут перекрывать друг друга. Увеличивая интервал, в котором задается вершина фигуры, степень пересечения «Crossing» растет (рис. 2).

После ввода входных аргументов результаты работы функции выводятся в окно программы, где существует возможность коррекции, сохранения и печати полученного набора данных. Также для удобства использования материала в дальнейших исследованиях происходит автоматическое сохранение с учетом существующих моделей данных в ГИС. Matlab предлагает широкий спектр растровых и векторных форматов изображений. В качестве векторного формата

выбран .eps, основан на языке Post Script, поддерживается различными приложениями по работе с графикой. Кроме самого изображения, генерируется текстовый файл .txt с координатами вершин полигонов, что составляет атрибутивную часть векторной модели данных. Для записи растра выбран формат без потери качества – .tiff, он поддерживается всеми современными программами просмотра и обработки изображений. Его основным недостатком является большой объем, который при желании можно уменьшить, применив алгоритмы сжатия изображений.

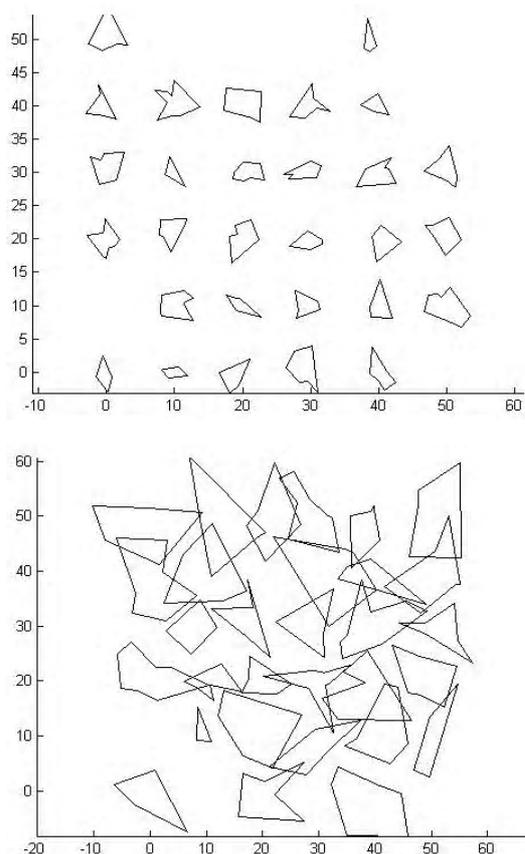


Рис. 2. Генерация полигонов с разными значениями пересечения фигур ($Crossing = 4$, $Crossing = 11$)

Проблема в использовании данной функции, с которой может столкнуться молодой ученый, связана с возможностью приобретения официальной версии Matlab. Несмотря на существование различных вариантов программы для коммерческого использования или для проведения научных экспериментов (рекомендуют версию MATLAB Academic Edition), ее стоимость остается очень высокой и составляет не одну тысячу долларов [5]. В связи с этим для использования этой функции можно рекомендовать бесплатное программное приложение Octave. Данный пакет предоставляет пользователю интерфейс для решения различных математических задач и проведения научных экспериментов. Этот интерпретируемый язык программирования по синтаксису очень похож на Matlab и C. Поддерживает большинство функций стандартных библиотек и основные команды.

Полезной особенностью Octave является то, что он практически без изменений принимает большинство программ, написанных на языке Matlab и позволяет сохранить их в виде М-файлов после редактирования. Различия в синтаксисе незначительны и легко редактируются: оформления комментариев, операторов и элементов адресации.

Недостатком пакета является отсутствие оболочки графического пользовательского интерфейса, которая так привычна в Matlab. Но данная проблема легко решается установкой поверх Octave бесплатного графического интерфейса, который по стилю оформления и расположению базового функционала очень напоминает Matlab. Существуют и другие недостатки в работе, которые связаны с отсутствием собственного модуля построения графиков, неинформативные сообщения об ошибках, а также низкое качество сопроводительной документации по работе программы. Однако все эти минусы незначительны, и для молодых ученых иногда менее принципиальны, чем стоимость официальной версии пакета.

Выводы

Надежность работы методов пространственно-атрибутивного анализа информации можно выявить на достаточно большом статистическом материале. В статье предложена модификация алгоритма генерации случайного набора данных с возможностью варьировать значение размера, плотности и степени пересечения полигонов. Таким образом, актуализируя значение входных аргументов, можно влиять на динамику, ритм и развитие состояния объектов наблюдения. Полученный набор данных автоматически сохраняется в векторном и растровом формате. По данному алгоритму реализована функция в пакете Matlab, которую можно вызывать через командную строку или вставить в программный код. Кроме того, данный алгоритм компилируется в свободном программном приложении Octave, что еще больше расширяет возможность его применения.

Практическая значимость: Применение тестовых наборов данных для проверки эффективности и надежности работ алгоритмов пространственно-атрибутивного анализа информации. Сокращение временных и финансовых затрат на формирование реального информационного пространства. Использование тестового набора данных на первых этапах проектирования ГИС – для выбора, знакомства и освоения программного обеспечения и временной подмены реального информационного пространства. В случае сбоя работы системы, тестирования и проектирования в момент отсутствия исходных данных (ожидание или отсрочка заказа). *Научная новизна:* впервые применен алгоритм формирования тестового информационного пространства в задачах проектирования ГИС.

Литература: 1. Оньков И.В. Исследование геометрической точности ортотрансформированных снимков RapidEye // Геомастика. 2009. № 4(5). С. 21-27. 2. Адров В.Н.,

Карионов Ю.И. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования. В.Н. Адров, Ю.И. Карионов, П.С. Титаров, А.Д. Чекурин // М.: Ракурс, 2004. Электронный ресурс: <http://www.racurs.ru> 3. Дубинин М.Ю. Открытые данные ДЗЗ – двигатель прогресса в области геоинформатики // Земля из космоса. 2011. № 11. С.9-14. 4. Никулин Е.А. Компьютерная геометрия и алгоритмы машинной графики. СПб: БХВ-Петербург, 2003. С.51-54. 5. Электронный ресурс: http://www.nsu.ru/matlab/Mat_Lab_RU/money/default.asp.htm

Поступила в редколлегию 23.03.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Самойленко Н.И.

УДК004.652.4+004.827

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЛІКУВАЛЬНО-ТЕРАПЕВТИЧНОЇ СХЕМИ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ

МЕЛЬНИКОВА Н.І.

Проводиться аналіз характеристик оцінки якості експертної системи лікування пацієнтів, на підставі якого можна стверджувати, що експертна система, керуючись введеними параметрами, які є результатом обстеження хворого, встановлює власний показник ваги стану пацієнта, дає оцінку ефективності препарату та методу лікування, враховує соціальний статус обстежуваних, визначає часові прогнози захворювання (тривалість лікування) та профілактику корекції факторів ризику (супутня патологія).

Вступ. Все в житті вимагає оцінки, а особливо людські винаходи. Програмні продукти, якими б вони не були досконалими та актуальними у будь-якій предметній області, змушені проходити сертифікацію, оцінку якостей розроблених систем. Щороку на ринку з'являються тисячі нових пристроїв, які потрібно оцінювати на підставі міжнародних стандартів ISO з метою встановлення рівня їхньої валідності, безпеки, характеристики обладнання, що дає змогу підвищити захист користувачів.

Мета. Існує на даний час велика кількість нормативних вимог, які створюють передумови для стимулювання виробників надавати гарантію, що їхня продукція не несе небезпеки. Стандарти керуються інструментами, такими як: візуальні аналогові шкали (VAS), стандартні описові системи, що не дають чіткої та об'єктивної оцінки продуктів стосовно їхньої професійної придатності. Це зумовлює незручності як у практичному, так і в науковому опрацюванні даних. Велика чисельність інструментальних засобів оцінки свідчить про актуальність проблеми, а з іншого боку – про відсутність єдиного підходу до її вирішення. На підставі цього виникає потреба розробки універсального методу, який міг би виконувати роль «золотого» стандарту. Ми пропонуємо власний підхід щодо вирішення задачі оптимізації методу оцінки якості медичних експертних систем, що забезпечують підбір оптимальних схем лікування.

Бельчева Анна Владимировна, аспірант кафедри медіа системи та технології ХНУРЭ. Научные интересы: проблемы оценки качества данных в геоинформатике. Нечеткая логика. Matlab. Стандартизация данных. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-13-78, e-mail: annija@yandex.ru.

Манакова Наталья Олеговна, канд. техн. наук, доцент кафедры медиа систем и технологий ХНУРЭ. Научные интересы: ГИС, нечеткая логика, методы и алгоритмы обработки данных, автоматизированное управление инженерными сетями. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, e-mail: NatalyM@rambler.ru.

1. Оцінка якості життя. Новий стандарт ISO 14155:2011 - «Випробування клінічних медичних виробів для людей. Належна клінічна практика» оцінює якість медичного обладнання. У ньому встановлюються правила належної клінічної практики: проектування, проведення запису та звітності клінічних досліджень, які виконуються на людях для оцінки безпеки і характеристик медичних засобів для регулюючих та інших цілей. У даному міжнародному стандарті встановлюються вимоги, що забезпечують [1]:

- захист прав, безпеку і благополуччя людей;
- гарантію науковості проведення клінічних досліджень і достовірність їх результатів;
- визначення відповідальності спонсорів та наукових керівників;
- підтримку для спонсорів, наукових співробітників, комітетів з етики, наглядових органів та інших організацій, що беруть участь в оцінці відповідності медичного обладнання.

Стандарт ISO 14155:2011 розроблений робочою групою WG4 «Клінічні дослідження людини» технічного комітету ISO/TC 194 «Біологічна оцінка медичного устаткування». Хоча він допомагає підвищити якість медичних систем, та його використання носить характер узагальненості показників, що базуються на розрахунках характеристик, оцінених відповідно до аналогових шкал, описових систем, які не завжди можна вважати об'єктивними. [2]

Усі медичні інформаційні системи, які розробляються та базуються на наукових дослідженнях, повинні впливати на ефективність одужання хворих людей. Вважаємо, що безпека та благополуччя таких людей (BL) еквівалентна якості їх життя (QL):

$$BL \approx QL$$

Якість життя хворої людини у сучасній медицині залежить від фізичного, психологічного та соціального компонентів. Кожен із цих компонентів у свою чергу включає цілий ряд складових (таблиця 1).

Їх всебічне вивчення дозволяє визначити рівень якості стану хворого як окремої особи, так і цілих груп, і встановити, за рахунок якого складника він підвищується чи знижується та на що необхідно вплинути,

щоб покращити якість життя (скоригувати або змінити тактику лікування, надати соціальну підтримку та ін.).

Фізичний стан				Психологічний стан				Соціальний стан			
симптоми захворювання	фізіологічні ознаки	можливість виконання фізичної роботи	здатність до самообслуговування	тривога	депресія	агресія	адекватність	соціальна підтримка	матеріальна спроможність	наявність роботи	громадські зв'язки

Вважаємо, що якість життя QL дорівнює якості стану хворого QSP, якщо вимірювання цих показників здійснюється на основі аналізу станів пацієнта:

$$QL = QSP = \frac{(FS + PS + SS) \times EMH \times QSO}{EE} \rightarrow \max$$

при виконанні обмежень :

$$EMH \in (0,1], PS \in [0,1], EE \in (0,1],$$

$$FS, PS, SS, QSO \in [0,1], EMH, EE \in (0,1],$$

$$SS \in [0,1], QSO \in [0,1],$$

де QSP – якість стану хворого; FS – фізичний стан; PS – психологічний стан; SS – соціальний стан; EMH – ефективність надання медичної допомоги; QSO – якість стану одужання пацієнта; EE – економічна ефективність. Область допустимих значень кількісних показників коливається від 0 до 1.

Дану задачу нелінійного програмування можна розв'язати засобами існуючих методів: релаксації, градієнтів або множників Лагранжа.

Отже, якість життя, яка характеризується якістю стану пацієнта, прямо пропорційна якості стану одужання хворого та ефективності надання медичної допомоги, що визначається комплексним аналізом нових методів діагностики, лікування, профілактики, якості лікування.

Основні завданнями в процесі покращення стану здоров'я пацієнтів:

- регрес клінічних проявів захворювання,
- підвищення функціональних показників,
- максимальне наближення якості життя хворого до рівня здорової людини.

Необхідно створити передумови для практичного застосування оцінки якості життя у вітчизняних реаліях, щоб розширило і полегшило прогнозування лікарями розвитку хвороби і ускладнень, виявлення пацієнтів, які потребують активного спостереження.

Можна стверджувати, що оцінка якості життя повинна стати одним із основних критеріїв ефективності надан-

ня медичної допомоги, а також самостійним показником стану пацієнтів при проведенні медико-соціальної експертизи, визначення прогнозу, тактики лікування, розробці реабілітаційних програм, оскільки насамперед лікується не хвороба, а пацієнт, що страждає від неї.

2. Оцінка якісних характеристик стану хворого. Зауважимо, що на даний час якісні характеристики стану хворого встановлюються на підставі стандартів, шкали стану пацієнта. Ми розробили власні підходи визначення критеріїв стану пацієнта.

Визначення фізичного стану хворого здійснюється за рахунок логічного додавання параметрів, що оцінюють фізичні характеристики пацієнта, а саме: симптоми захворювання, здатність до самообслуговування, можливість виконання фізичної роботи, тощо.

$$FS = \sum_{i=1}^n FS_i, \quad i = \overline{1, n}, FS \in [0,1].$$

Психологічний стан пацієнта такий же важливий, як і його фізичні характеристики. Нерідко він є суттєвим важелем оцінки самопочуття. Оцінити його величину можна логічним додаванням складових характеристик психологічного стану, таких як тривога, депресія, ворожа поведінка, тощо:

$$PS = \sum_{i=1}^m PS_i, \quad i = \overline{1, m}, PS \in [0,1].$$

Соціальний стан пацієнта можна вважати частковою складовою психологічного стану. Соціальні характеристики є не останніми при формуванні самопочуття хворого. Але виникає необхідність у конкретизації соціальних критеріїв, які формують кількісну характеристику стану пацієнта. Визначення соціального стану оцінюється логічним додаванням показників, соціальної підтримки, наявності роботи та громадських зв'язків, тощо:

$$SS = \sum_{i=1}^s SS_i, \quad i = \overline{1, s}, SS \in [0,1].$$

Важливим фактором впливу на формування якості стану хворого є не лише компоненти стану пацієнта, а й ефективність надання медичної допомоги хворому. Можемо стверджувати, що чим ефективніше одужання хворого, тим вищою є якість життя.

Приклад. У хворих на цукровий діабет зниження цукру не обов'язково супроводжується покращенням якості життя у випадках гіпоглікемії. Ймовірно, це пов'язано з тим фактом, що наявність високого цукру часто не супроводжується симптомами і пацієнт може загалом почуватися задовільно і без лікування.

При оцінці впливу лікування на якість життя необхідно враховувати і можливість розвитку побічних ефектів препаратів, які можуть призвести до появи нових симптомів, інколи навіть погіршуючи якість життя. Крім того, часто сам факт необхідності прийому меди-

каментів негативно сприймається пацієнтом і відповідно створює психологічні проблеми [3].

Оцінка якості життя в останні роки набуває більшого значення у світовій медичній практиці як показник загального стану пацієнта, ефективності лікувальних та реабілітаційних заходів, що проводяться, а також використовуються як прогностичний критерій кінця захворювання та фартмоекономічний критерій створення і випробування нових медичних технологій.

3. Оцінка ефективності надання медичної допомоги. Встановлено, що якість життя є чинником, який визначає схильність хворого до лікування. Отже, лікування може спричиняти як позитивні, так і негативні зміни в якості життя. Тому останнім часом уряді досліджень [3,4] оцінюють вплив лікування на зміни якості життя, та розглядають як один із критеріїв ефективності.

Отже, ефективність надання медичної допомоги можемо сформулювати у вигляді взаємозалежності характеристик стану хворого та часових показників:

$$EMH = \frac{(FS + PS) \times V}{T},$$

де FS – фізичний стан хворого; PS – психологічний стан хворого; T – часова характеристика одужання пацієнта (дні), $T > 0$; V – вартість лікування, $V > 0$.

На підставі проведених підрахунків отримали графічне підтвердження ефективності лікування хворих різних груп (рис 1).

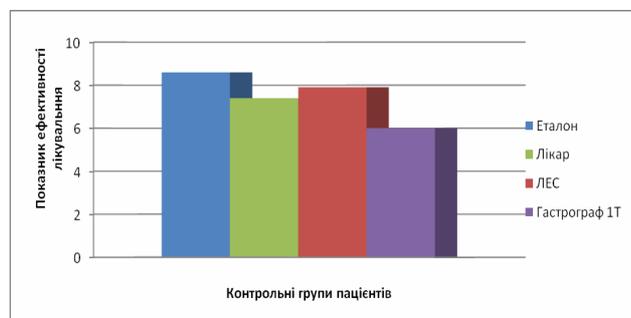


Рис.1. Порівняльна діаграма хибності прийняття рішень у підборі схеми лікування

На основі діаграми модель лікувальної експертної системи (ЛЕС) є ефективним програмним продуктом, що забезпечує не лише швидке, але й пролонговане одужання хворих при захворюваннях різного характеру.

Свідченням цього є проведений аналіз на прикладі контрольних груп пацієнтів, що були сформовані на підставі різних фахових підходів під час лікування, а саме: I група – еталон; II група – лікар-фахівець; III група – ЛЕС; IV група – Гастрограф 1Т.

Отже, I група – це певна група пацієнтів, показники яких беруться на підставі певних теоретичних, еталонних показників; II група – це пацієнти, лікування яким призначав кваліфікований лікар; III група – це паціє-

нти, схема лікування яким підбиралась на підставі отриманих висновків лікувальної експертної системи; IV група – це група хворих, що лікувалися існуючою системою “Гастрограф 1Т”.

На підставі розбиття пацієнтів на групи ми отримали можливість відображення часової ефективності покращення стану хворих, що підтверджується діаграмою (рис. 2).

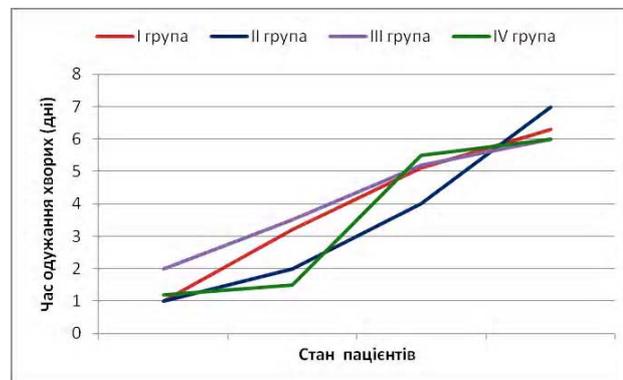


Рис.2. Діаграма часової ефективності лікування хворих засобами ЛЕС

4. Оцінка якості стану хворого. Поняття якості життя широко використовується і в фартмоекономічних дослідженнях, зокрема для аналізу вартості або користі, стаючи в даному випадку основним критерієм ефективності терапії. Це дає можливість об'єднати очікувану тривалість життя та його якість, а також порівняти вартість витрат та методи лікування зовсім різних захворювань, перебіг яких оцінюють за допомогою різних клінічних показників. Для цього використовується одиниця QSO - якість стану одужання пацієнта. Таким чином, можна отримати важливу інформацію для порівняння ефективності різних методик лікування, розробки нових підходів та планування фінансування різних галузей охорони здоров'я на національному рівні.

Якість стану хворого (QSO) є мірою важкості хвороби, включаючи якість та кількість життя [2,3]. Ця одиниця використовується при оцінці співвідношення ціни і якості медичного втручання. QSO - модель залежить від об'єктивної оцінки стану пацієнта, коефіцієнта ризику, компромісної поведінки та часового показника подовження життя хворого після втручання. [4] Кількісний показник QSO відповідає 1 при відмінному здоров'ї людини та 0 – відповідно при смерті:

$$QSO = kr \frac{Pk}{1 - Sp},$$

де Sp – оцінка стану пацієнта; kr – коефіцієнт ризику;

Pk – компромісна поведінка; $Pk = \frac{SS}{T}$; $kr = \sqrt{1 - \frac{T}{Td}}$

SS – соціальний стан хворого.

T_d – часовий показник подовження життя хворого після втручання (дні), $T_d > 0$; T – часова характеристика одужання пацієнта (дні), $T > 0$.

Оцінка стану пацієнта є взаємозалежна з вагою життя та соціального стану хворого SS : $Sp = FL \times SS$, де FL – вага стану самопочуття хворого.

QSO часто використовується для аналізу корисності витрат та розрахунку співвідношення вартості втручання до QSO . Аналіз корисності витрат є однією з форм економічного аналізу та використовується для керівництва закупівельних рішень. Найбільш поширене застосування цього аналізу спостерігається в фармекономіці та особливо для оцінки медичних технологій.

Приклад. Якщо терапевтичне втручання дозволяє пацієнту прожити ще певну кількість років T_d , ніж якби не проводилось жодне лікування, та підвищити вагу життя FL , яка підбирається за відповідною шкалою стану пацієнта, тоді якість життя пацієнта відповідно збільшується, тобто

$$W = T_d \times FL, \quad W_1 = 3 \times 0,5 = 1,5 \cdot QSO;$$

$$W_2 = 2 \times 0,65 = 1,3 \cdot QSO.$$

Отже, вигода від втручання VW оцінюється як різниця показників втручання різного характеру (W_1, W_2):

$$VW = W_1 - W_2,$$

тому $W_1 - W_2 = 1,5 - 1,3 = 0,2 \cdot QSO$.

Вага стану самопочуття пацієнта FL оцінюється в діапазоні від 0 і 1 та визначається різними методами, такими як:

- Час – компроміс (ТТО): респондентам пропонувалося вибрати між: залишитися хворим ще певний період свого життя або бути здоровим, внаслідок медичного втручання, але жити менше.
- Стандартна гра (SG): респондентам пропонувалося вибирати: залишитися в стані поганого самопочуття протягом певного часу або вибрати медичне втручання, що дає шанс відновлення здоров'я або вбиває їх.
- Візуальною аналоговою шкалою (VAS): респондентів попросили оцінити стан здоров'я за шкалою від 0 до 100, де 0 означає смерть і 100 – абсолютно здоровий. Цей метод має перевагу у тому, що найпростіше запитати, але є найбільш суб'єктивним.

5. Визначення стану самопочуття хворого. Спосіб визначення ваги (для цього використовують стандартні описові системи, такі як EuroQol і EQ5D), який класифікує стан здоров'я у відповідності з такими розмірами: мобільність, догляд за собою, звичайна діяльність, біль/дискомфорт, тривога/депресія. Тим не менш, вага відповідає певному стану самопочуття, може сильно варіюватися залежно від рівня обстежуваних.

Ми пропонуємо власний метод визначення стану самопочуття хворого, тобто ваги життя пацієнта.

Нехай фізичний та психологічний стан є основними характеристиками хворого, їхня обернено пропорційна залежність дає оцінку ваги стану самопочуття:

$$FL = \frac{FS}{PS + FS},$$

де FS – фізичний стан хворого; PS – психологічний стан хворого.

6. Оцінка економічної ефективності терапевтичних схем лікування пацієнтів. Аналіз ефективності витрат є однією з форм економічного аналізу, який порівнює співвідношення витрат і результатів з двох або декількох варіантів дій. Як правило, виражається через співвідношення, поліпшення здоров'я від міри та вартості, що пов'язана з поліпшення здоров'я населення. [3,4] Аналіз корисності витрат схожий на аналіз ефективності витрат.



Рис.3. Діаграма економічної ефективності терапевтичних схем лікування пацієнтів

У контексті фармекономіки ми розглянули ефективність витрат як економічну ефективність терапевтичних або профілактичних заходів, що є співвідношенням витрати на втручання. Міра ефективності розглядається як залежність від втручання. Економічна ефективність (ЕЕ), як правило, виражається у вигляді додаткових витрат, коефіцієнта ефективності, коефіцієнта зміни витрат на зміни результатів та часу застосування підібраної терапевтичної схеми. Результати повинні базуватись на клінічних рішеннях в контексті втручання:

$$EE = \frac{V \times ke \times kv \times kz}{T_z},$$

де V – витрати на лікування (одиниці вартості); ke – коефіцієнт ефективності проведення лікування; kv – коефіцієнт зміни витрат; kz – коефіцієнт зміни результатів; T_z – час застосування терапевтичної схеми (дні);

$$ke = \frac{1}{V}, V > 0; kv = \frac{1}{|V_p - V_r|}, |V_p - V_r| > 0;$$

тут V_p – плановані витрати на лікування (одиниці вартості); V_r – реальні витрати на лікування (одиниці вартості);

$$kz = \frac{(FS_e - FS_f) + (PS_e - PS_f)}{T_z}, T_z > 0,$$

де FS_f – початковий фізичний стан хворого; PS_f – початковий психологічний стан хворого; FS_e – кінцевий фізичний стан хворого; PS_e – кінцевий психологічний стан хворого.

Ми розглянули чотири групи пацієнтів, що розподілялись на підставі принципу підбору схеми лікування, і відповідно до цього зробили аналіз економічної ефективності кожної групи, що відображена на рис. 3.

Отже, вивчення якості життя застосовується для:

– для всеохоплюючого обстеження пацієнта з урахуванням власного, суб'єктивного визначення свого стану;

– оцінки ефективності препаратів та методів лікування в клінічній практиці і наукових дослідженнях, визначення рівня довіри та прихильності хворого до призначеного лікування;

– встановлення психологічних проблем та соціального статусу у хворих системі загальної практики;

– визначення прогнозу захворювання та профілактичної корекції факторів ризику, підбору реабілітаційних заходів та при проведенні медико-соціальної експертизи;

– аналізу співвідношення витрат і ефективності медичної допомоги в медичному аудиті.

Висновок. Проведений аналіз характеристик оцінки якості експертної системи лікування пацієнтів, на підставі якого можна стверджувати, що експертна система, керуючись введеними параметрами, які є результатом обстеження хворого, встановлює влас-

ний показник ваги стану пацієнта, дає оцінку ефективності препарату та методу лікування, враховує соціальний статус обстежуваних, визначає часові прогнози захворювання (тривалість лікування) та профілактику корекції факторів ризику (супутня патологія). Проведений підрахунок економічної ефективності лікування дає підстави стверджувати про доцільність лікувальної експертної системи.

Література: 1. National Institute for Health and Clinical Excellence - Measuring effectiveness and cost effectiveness: the QALY. <http://www.nice.org.uk>. 2. Prieto, Luis; Sacristón, JA (2003-12-19). "Problems and solutions in calculating quality-adjusted life years (QALYs)" (pdf). Health and Quality of Life Outcomes (BioMed Central): 10.1186/1477-7525-1-80.PMC 317370.PMID14687421. <http://www.hqlo.com/content>. 3. Schlander, Michael (2010-05-23), "Measures of efficiency in healthcare: QALMs about QALYs?", Institute for Innovation & Valuation in Health Care, <http://www.michaelschlander.com/pnp/publicationsen>. 4. Gold M.R. Medicare And Cost-Effectiveness Analysis: Time To Ask The Taxpayers./ M.R. Gold., S. Sofaer, T. Siegelberg. Health Affairs, 26, no.5 (2007):1399-1406. <http://content.healthaffairs.org>.

Надійшла до редколегії 24.01.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Русин Б. П.

Мельникова Наталія Іванівна, здобувач кафедри інформаційних систем та мереж ІКНІ НУ «Львівська політехніка», асистент кафедри інформаційних технологій ІППТ НУ «Львівська політехніка». Наукові інтереси: методи аналізу медичних даних, експертні системи, методи виведення знань. Хобі: література, мистецтво, гірські лижі. Адреса: Україна, 79012, Львів, вул. ак. Сахарова, д. 12, кв. 16, моб. тел. 0663498824.

УДК004.413+004.51+004.738.5

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІДВІДУВАННЯ ВЕБ-ГАЛЕРЕЙ З УРАХУВАННЯМ ПОВЕДІНКИ КОРИСТУВАЧА

РИШКОВЕЦЬ Ю.В., ЖЕЖНИЧ П.І.

Описується класифікація Веб-галерей та проводиться аналіз їхньої відвідуваності. Пропонується метод побудови експозицій Веб-галерей.

1. Вступ

На сьогоднішній день Веб-галереї стали невід'ємною частиною інформаційного Веб-простору. В мережі Інтернет Веб-галереї використовуються в таких Веб-ресурсах як портали новин, блоги, вікі, форуми, соціальні мережі, приватні сайти та сайти організацій. Така поширеність Веб-галерей свідчить про ефективність їхнього використання. Кожний з цих Веб-ресурсів має своє індивідуальне призначення і свою спільноту, тому не можна використовувати один і той же тип Веб-галерей для різних Веб-ресурсів. Крім того, перегляд Веб-галерей не повинен негативно впливати на працездатність та функціональний стан користувача.

90

Метою роботи є побудова методів підвищення ефективності функціонування Веб-галерей.

2. Класифікація Веб-галерей

Концепція Web 2.0 визначає використання мультимедійного інформаційного наповнення в усіх типах ресурсів Інтернет, яке з появою Web 2.0 стало відігравати ще вагомішу роль і по важливості та змісту прирівнялось до текстового інформаційного наповнення. Крім того, завдяки новим технологіям та соціальним комунікаціям Web 2.0 мультимедійне інформаційне наповнення є основою та невід'ємною компонентою багатьох популярних Веб-ресурсів, до яких, зокрема, належать такі фоторесурси, як Flickr, Picasaweb, Zoome, Shutterfly тощо.

Веб-галереї можна класифікувати за різними ознаками, але для нас важливим є дослідження поведінки користувача Веб-ресурсу, пов'язане з перебуванням користувача на цьому ресурсі. Тому проведемо класифікацію Веб-галерей тільки за доступністю їхнього перегляду.

Отже, за доступністю перегляду Веб-галереї поділяються на відкриті (публічні) та закриті (приватні).

До відкритих Веб-галерей належать такі, що використовуються в різних Веб-ресурсах з вільним доступом

РІ, 2012, № 2

і дають можливість вирішувати завдання інформування користувачів мережі Інтернет про події у світі (портали новин), обговорення різних речей, подій, думок, ситуацій (форуми), наповнення суспільно важливих проектів (електронна енциклопедія, спеціалізовані галереї), ведення особистого щоденника, комунікативні та колоборативні середовища (блоги, відкриті або частково відкриті соціальні мережі) тощо.

Відкриті Веб-галереї орієнтовані на відвідувача, тобто на задоволення його інформаційних потреб. Відвідувачу доступне все інформаційне наповнення Веб-галереї і він, маючи свої певні інтереси, особисто вирішує, яке інформаційне наповнення його цікавить і що переглядати, а що ні.

Закриті галереї поділяються на повністю та частково закриті. Частково закриті Веб-галереї використовуються в таких Веб-ресурсах, де право ознайомлення з інформаційним наповненням має лише учасник певної спільноти, а в повністю закритих – учасник певної спільноти ще повинен мати певні додаткові права доступу, визначені власником інформаційного наповнення відповідно до функціональних можливостей Веб-ресурсу.

У закритих Веб-галереях головна роль відводиться власнику ресурсу, який і визначає доступність інформаційного наповнення певному колу користувачів – членів певної спільноти. Задоволення потреб власника Веб-галереї є визначальним фактором існування такого типу Веб-галереї.

В цій роботі досліджуються лише відкриті Веб-галереї, що зумовлено їхньою орієнтацією на відвідувача Веб-галереї і задоволення його інформаційних потреб.

Використання Веб-галереї залежить від поставлених перед власником певного ресурсу цілей – комерційних та некомерційних.

Комерційні цілі визначають використання Веб-галереї у вигляді реклами певних об'єктів нерухомості, товарів, місць відпочинку тощо, опису товарів при здійсненні операцій купівлі-продажу чи іншому вигляді з метою отримання прибутку.

У некомерційних цілях Веб-галереї використовуються більше в тих проектах, де пріоритетним завданням є забезпечення широкого доступу до певного інформаційного наповнення.

Спільним для обох розглянутих цілей є прагнення збільшити цільову аудиторію та авторитетність певного Веб-ресурсу.

З точки зору дизайну інтерфейсу користувача, використання лише текстової інформації швидко втомлює людину, а використання текстової інформації у комбінації з графічною зменшує відчуття одноманітності та дозволяє швидше зрозуміти, про що йде мова.

Використання ілюстративних матеріалів підвищує активність користувача, привертаючи його увагу способом подання інформаційного наповнення [1-3].

Успішність та популярність ресурсу залежить не лише від якості його інформаційного наповнення чи його авторитетності, а й від способу подання цього наповнення кінцевому користувачу, тому що саме після перегляду об'єктів галереї у відвідувача формується власне враження про побачене і (або) почуте.

3. Особливості відвідування Веб-галереї

Основною задачею відвідувача Веб-галереї є перегляд певних об'єктів, який здійснити неможливо без попереднього сприйняття та впізнання. При цьому сприйняття зображення зоровим аналізатором людини відбувається дискретно, в моменти фіксації зору на будь-якому елементі зображення [4], а взаємопов'язані перцептивні дії впізнання і сприйняття об'єднуються процесами розпізнавання зображень [5-9].

Відвідувач Веб-галереї так, як і людина-оператор, також здійснює візуальне розпізнавання поданих зображень протягом певного інтервалу часу. На основі цього відвідувача Веб-галереї можна розглядати в концепції людини-оператора.

У своїй роботі Камінський Р.М. [10] провів моделювання інтелектуальної діяльності людини-оператора як системи опрацювання зображень. Зокрема, при сприйнятті та розпізнаванні зображень якість і обсяг поданої рецепієнту (тому, що одержує) інформації відбивається на результатах його діяльності у вигляді показників: оперативності – часу розпізнавання та достовірності – ймовірності правильного віднесення даного об'єкта його класу.

Низька якість і (або) складність зображень вимагають аналізу прийнятих рішень, що спричинює затримку в часі і може суттєво впливати на функціональний стан користувача. Зовнішнє середовище також впливає на систему відображення інформації, її сприйняття користувачем та на реалізовані ним рішення.

Довготривала робота, постійне нервове і розумове напруження природньо створюють суттєве психофізичне навантаження на оператора. Внаслідок цього сповільнюються когнітивні та моторні функції, погіршується зоровий пошук, знижується оперативність та безпомилковість дій, виникає значне нервово-психічне перенапруження. Такий стан негативно відбивається на якості її роботи, незважаючи на великі резервні та адаптаційні можливості людини.

Працездатність розглядається як потенційні можливості оператора виконувати ним ефективно, якісно і оперативно конкретну операцію або їх сукупність в даному робочому середовищі, спрямовану на досягнення поставленої мети або розв'язку конкретної задачі.

Вергономічній літературі поняття працездатності переважно пов'язують з трудовою діяльністю та функціональними станами [11-16]; автори [17] вважають, що відображенням істинної працездатності є такий рівень ефективності праці, при якому її максимальний прояв не шкодить здоров'ю; в [18] працездатність трактується

ся як прогностична категорія, що оцінює трудові можливості людини в часі; автори [19] на підставі експериментальних даних розглядають шість рівнів працездатності: високу, підвищену, середню, знижену, низьку та дуже низьку.

Час виступає головним критерієм продуктивності та ефективності, кількісним показником інтеграційних процесів різних функцій організму, мобілізованих на досягнення поставленої мети. Визначальними характеристиками операторської діяльності є своєчасність прийняття рішення, швидкість реалізації команд, часові витрати при виконанні тих чи інших дій.

Залежність працездатності від функціональних станів оператора подається у вигляді тренда (рис. 1). Функціональні стани розбивають на 5 інтервалів, кожний з яких має власну і переважно загальноприйнятну інтерпретацію: I – перехідний період, II – адаптаційний період, III – період підтримання норми, IV – період прогресуючої втоми і V – період різкого погіршення показників різних видів діяльності. В реальних ситуаціях на робочих місцях деякі стани, особливо крайні, можуть бути відсутні [10].

Відповідно до рис. 1 час, який оператор корисно проводить за процесами розпізнавання зображень, відповідає періоду підтримання норми, тобто це час найкращої працездатності оператора.

Проведені нами дослідження журналів доступу та моніторингу дій користувачів понад 500 авторитетних та популярних сайтів з Веб-галереями дозволяють стверджувати, що середній час, протягом якого відвідувач перебуває на сайті, становить 40-50 хвилин. Середній час перебування відвідувача на сайті ділиться на три інтервали: адаптація, активність та втома (рис.

2). Період адаптації становить 5-10 хвилин, активності – близько 30 хвилин, а втоми – 10-15 хвилин.

Описані дослідження визначення рівня працездатності та функціонального стану відвідувача Веб-галереї підтверджують результати досліджень Р. Камінського [10]. Відповідно, характеристики працездатності та функціональних станів, властиві для оператора поширюються і на користувача Веб-галереї.

Виходячи з цього, врахування часових показників має важливе і вирішальне значення при організації та оптимізації Веб-галереї. Тому для підвищення зацікавленості користувача до експозиції в періоди його адаптації та втоми потрібно подавати на перегляд не надто цікаві об'єкти, а в період активності – найцікавіші. Такий контраст об'єктів робить перегляд експозиції цікавішим.

Для зручного та цікавого перегляду експозицій потрібно, щоб вони формувались із врахуванням фаз функціонального стану користувача та рівня працездатності, а також враховували його інтереси. Організовані за таким принципом експозиції будемо називати ефективними. А якщо всі експозиції Веб-галереї будуть будуватись за такими принципами, то Веб-галерея буде ефективною.

Отже, під ефективністю функціонування Веб-галереї будемо розуміти її вміння адаптації до фаз функціонального стану певного користувача, рівня його працездатності та його інтересів.

Розглянемо адаптацію експозицій Веб-галереї до фаз функціонального стану користувача та рівня його працездатності.

На основі аналізу журналів доступу та моніторингу дій користувачів понад 500 сайтів встановлено, що пере-



Рис. 1. Зв'язок рівнів працездатності з фазами функціонального стану

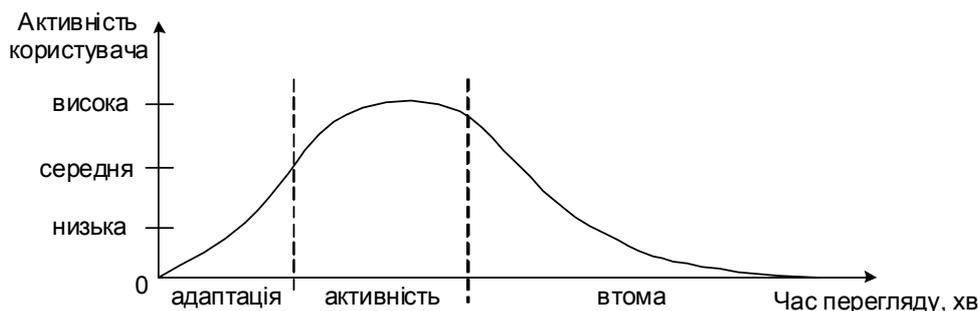


Рис. 2. Графік активності користувача Веб-галереї

гляд одного об'єкта Веб-галереї в середньому триває 10-15 секунд. Нами досліджено, що користувач може працювати за персональним комп'ютером, у тому числі переглядати Веб-галерею, без втрати працездатності протягом 30 хвилин. За цей час він може активно переглянути близько 100-150 об'єктів Веб-галереї.

Встановлене нами обмеження кількості об'єктів експозиції можна використати при побудові експозицій на основі кількісної стратегії, в якій акцент ставиться на кількість об'єктів в експозиції.

Враховуючи описане вище, кількісна стратегія реалізується двома шляхами – статичним, який передбачає використання встановленого нами часу працездатності як часового обмеження при побудові експозицій, та динамічним, коли реальна продуктивність роботи визначається індивідуально для кожного користувача на основі аналізу продуктивності його роботи.

Якщо в першому випадку кількість об'єктів експозиції обмежена за замовчуванням, то в другому випадку продуктивність роботи (середній час перегляду певного об'єкта) певного користувача Веб-галереї визначається так:

$$TPO = \frac{\sum_{i=1}^n TPE_i / CPO_i}{CPE},$$

де TPE_i – час перегляду i -ї експозиції певним користувачем; CPO_i – кількість переглянутих об'єктів i -ї експозиції певним користувачем; CPE – загальна кількість переглянутих певним користувачем експозицій Веб-галереї.

Розглянуті підходи визначення часу працездатності користувача Веб-галереї дозволяють розробити механізми адаптації експозиції до фаз функціонального стану користувача для підвищення зацікавленості до експозицій, що приведе до збільшення відвідуваності Веб-галереї та її авторитетності.

4. Висновки

Розглянуто класифікацію Веб-галерей за доступністю перегляду, а також взаємозв'язок працездатності та функціональних станів оператора. Проведено аналіз відвідуваності Веб-галерей, в результаті якого встановлено, що працездатність та функціональні стани, властиві оператору, поширюються і на користувача Веб-галереї. Розроблено та запропоновано метод побудови ефективних експозицій.

Наукова новизна полягає у розробці методу розв'язання задачі підвищення ефективності Веб-галерей.

Практична цінність полягає у визначенні допустимої кількості об'єктів експозиції і врахуванні періодів адаптації та втоми відвідувача при побудові експозиційних рядів Веб-галереї.

Література: 1. Головач В. Дизайн пользовательского интерфейса. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://book.plib.ru/read.php?pdf=14733>. 08.07.2011 р. Назва з титул. екрану. 2. Головач В. Дизайн пользовательского интерфейса 2. Искусство мыть слона

[Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://uibook2.usetics.ru/uibookII.pdf>. 12.07.2011 р. Назва з титул. екрану. 3. Папанек В. Дизайн для реального мира / В. Папанек. М.: Издатель Д. Аронов, 2004. 416 с. 4. Деев В. В. Анализ информации оператором-гидроакустиком / В. В. Деев, Ю. М. Забродин, А. П. Пахомов и др. Л.: Судостроение, 1989. 192 с. 5. Лескин А. А. Системы поддержки управленческих и проектных решений / А. А. Лескин, В. Н. Мальцев. Л.: Машиностроение, 1990. 167 с. 6. Леушина Л. И. Зрительное пространственное восприятие / Л. И. Леушина. Л.: Наука, 1978. 175 с. 7. Кроль В. М. Зрительное узнавание как управляемый поиск сложных фрагментов / В. М. Кроль // Сенсорные системы. 1995. Т. 9, № 1. С. 58 – 67. 8. Ллойд Дж. Системы тепловидения / Дж. Ллойд. М.: Мир, 1978. 414 с. 9. Кроль В. М. Модель работы зрительной системы при выделении объектов заданного класса / В. М. Кроль // Физиология человека. 1979. Т. 5, № 5. С. 875–890. 10. Камінський Р. М. Моделирование интеллектуальной деятельности людини-оператора як системи опрацювання зображень: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.23 / Камінський Роман Миколайович. Львів, 2007. 343 с. 11. Барабаш Ю. Л. Учет свойств признаков при распознавании / Ю. Л. Барабаш // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1965. № 5. С. 85 – 92. 12. Леонова А. Б. Психодиагностика функциональных состояний человека / А. Б. Леонова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 200 с. 13. Заракowski Г. М. Введение в эргономику / Заракowski Г. М., Корольов Б. А., Медведев В. И. и др.; под ред. В. П. Зинченко. М.: Сов. радио, 1974. 352 с. 14. Заракowski Г. М. Закономерности функционирования эргатических систем. / Г. М. Заракowski, В. В. Павлов. М.: Радио и связь, 1987. 232 с. 15. Камінський Р. М. Контроль функціонального стану оператора в людино-машинному інтерфейсі / Р. М. Камінський, О. М. Підзирайло // Інформаційні технології і системи. Перша міжн. конференція "ГІС-93", Праці, Т.1. Львів: НВЦ ГІС, 1995. С. 73–75. 16. Камінський Р. М. Контроль функціонального стану людини оператора в системах управління технологічними процесами / Камінський Р. М., Ткачук О. Ю., Шута О. С. / Друга українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-95", Праці, Т.5. Львів: НВЦ "Гіс", 1995. С. 55 – 56. 17. Навакатикян А. О. Физиология и гигиена умственного труда / Навакатикян А. О., Крыжановская В. В., Кальниш В. В. К.: Здоров'я, 1987. 152 с. 18. Стрюков Г. А. Работоспособность человека / Стрюков Г. А., Грицевский М. А. // Гигиена труда и профессиональные заболевания. 1973. № 10. С. 41–43. 19. Ставицкий К. Р. Методы контроля психической работоспособности и эмоциональной активности / Ставицкий К. Р., Государев Н. А. // Гигиена и санитария. 1984. № 11. С. 48–49. 20. Ришковець Ю. В. Моделирование інформаційних потреб користувача Веб-галереї / Ю. В. Ришковець, П. І. Жежнич // Журн. "Штучний інтелект". 2011. № 1. С. 236–242.

Надійшла до редколегії 21.03.2012

Рецензент: д-р фіз.-мат. наук, проф. Цегелик Г. Г.

Ришковець Юрій Володимирович, аспірант кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національного університету "Львівська політехніка". Наукові інтереси: реляційні бази даних та бази часово-залежних даних, адаптивні інформаційні системи, технології консолідації даних, системи електронного урядування. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С.Бандери, 12, т. (032) 258-25-38.

Жежнич Павло Іванович, д-р техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету "Львівська політехніка". Наукові інтереси: реляційні бази даних та бази часово-залежних даних, моделювання часового фактора в предметних областях, семантично відкриті інформаційні системи, Інтернет-технології, опрацювання XML-даних, системи керування контентом, системи електронного урядування, геоінформаційні системи. Адреса: Ук79013, Львів, вул. С.Бандери, 12, т. (032) 258-26-38, (032) 258-25-38.

РЕФЕРАТИ

УДК 621.3

Дослідження системи охолодження акумуляторної батареї / Р.П. Слабоспицький, М.А. Хажмуратов, В.П. Лук'янова // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. №2. С.3-8.

Наведено результати досліджень системи охолодження повітряним потоком акумуляторної батареї, що складається з великого числа чарунок. Знайдено оптимальні розміри зазорів між чарунками, а також швидкість подачі охолоджуючого повітря між ними. Показано, що для вибору оптимальної швидкості подачі повітря крізь велику кількість чарунок необхідно використовувати матеріал з великою теплопровідністю

Табл. 3. Іл. 8. Бібліогр.: 5 назв.

УДК 519.6:004.932

Обчислювальні методи обробки зображень для оцінки місцерозташування об'єктів зі слабим блиском / О. М. Кожухов // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. №2. С.9-16.

Запропонований комплексний обчислювальний метод обробки зображень з оптичних телескопів, що оснащені ПЗЗ-камерами, який базується на використанні розроблених обчислювальних методів та оцінки місцерозташування об'єктів зі слабким блиском. Метод використаний в системі автоматизованого виявлення нових і відомих астероїдів, в розробці якої брав участь автор. Наведені результати використання даної системи.

Іл. 4. Бібліогр.: 18 назв.

УДК 519.6:004.932

Обчислювальні методи обробки даних для виявлення об'єктів з локально незмінними параметрами видимого руху / О. Б. Брюховецький // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. №2. С.16-23.

Запропонована сукупність обчислювальних методів обробки даних, які забезпечують автоматизоване виявлення об'єктів із локально незмінними параметрами руху з високими показниками якості. Дані методи використані в розробленій системі автоматизованого виявлення нових та відомих астероїдів. Наведені результати застосування системи для виявлення малих тіл Сонячної системи.

Іл. 7. Бібліогр.: 14 назв.

УДК 621.3.013

Динаміка частинок з урахуванням просторового заряду при транспортуванні в прискорювачах / М.М. Чернишов // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.24-27.

Розглянуто питання емісії електронів, заряджених частинок в електричному та магнітному полях і рух електронних потоків просторового заряду, а також управління електронними потоками. Робота присвячена хвилям в електронних потоках і взаємодії високочастотних хвиль з електронами.

Іл. 2. Бібліогр.: 16 назв.

ABSTRACTS

UDC 621.3

Investigation of accumulator battery cooling system / R.P. Slabospitskij, M.A. Khazhmuradov, V.P. Lukyanova // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.3-8.

Cooling system of accumulator battery consisting of a large number of cells is considered. The optimal size of gaps between cells and the cooling air flow rate between them are given. It is shown that for optimal air flow through a large number of cells it is to use a material with high thermal conductivity.

Tab. 3. Fig. 8. Ref.: 5 items.

UDC 519.6:004.932

Computing methods of image processing for faint objects position estimation / A. M. Kozhukhov // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.9-16.

The integrated computing method of processing of images received from optical telescopes with CCD-cameras is offered. The method is based on the using of the developed computing methods of faint objects position estimation. The method has used in developed system of automated online new asteroids detection and known asteroids tracking. The results of the system application is presented.

Fig. 4. Ref.: 18 items.

UDC 519.6:004.932

Computing methods of data processing for definition of objects with locally constant parameters of seen movement / A. B. Bryukhovetskiy // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.16-23.

The set of computational methods of data processing, which provide automated detection of the objects with a locally constant parameters of motion with high quality, is offered. The described methods are used in developed system of automated- detection of new and known asteroids. The results of this system for the detection of small Solar system bodies is shown.

Fig. 7. Ref.: 14 items.

UDC 621.3.013

Dynamics changes of particles with account spetial of the charge at go in accelerators / N.N. Chernyshov // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.24-27.

In work questions of issue electrons, movement of the charged particles in electric and magnetic fields and movement of electronic streams are considered in view of a spatial charge. Questions of electrostatic management are considered by electronic streams. Work is devoted to waves in electronic streams and to interaction of high-frequency waves with electrons.

Fig. 2. Ref.: 16 items.

УДК 621.327:681.5

Метод двокомпонентного кодування апертурних складових зображень в засобах телекомунікацій / В.В. Бараннік, О.М. Додух // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.28-32.

Описано метод стиснення зображень на основі побудови узагальненого двокомпонентного кодового представлення на базі сумісного використання елементів координатно-структурного і рядково-масштабуючого представлення фрагмента зображення. Показано, що це забезпечує обробку цілісної інформації про фрагмент зображення, а узагальнене формування кодової комбінації здійснюється на основі двокомпонентного інтегрованого принципу. Доведено переваги запропонованого підходу щодо біт-орієнтованого принципу формування інтегрованого представлення.

Бібліогр.: 5 назв.

УДК 629.391

Кодування значущих компонент трансформант / В.В. Бараннік, В.М. Кривонос, Г.В. Хаханова // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.32-35.

Обґрунтовано підхід для побудови технології компресії зображень з використанням попередньої трансформації, яка базується на формуванні двох складових трансформанти, а саме: вектора значущих компонент і вектора масштабуючих складових; опису вектора значущих компонент трансформанти у вигляді елементів позиційних чисел з нерівними сусідніми елементами.

Бібліогр.: 5 назв.

УДК 621.311.68

Модель для надійнісного проектування джерел безперебійного електроживлення радіоелектронних інформаційних систем цілодобової тривалої експлуатації / Б.Ю. Волочий, Д.С. Кузнєцов // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С. 36-42.

Запропоновано надійнісну модель для автоматизації рішення завдань проектування відмовостійкої системи для джерела безперебійного електроживлення. Наведено приклад рішення завдань проектування відмовостійкої системи.

Табл. 5. Іл. 4. Бібліогр.: 15 назв.

УДК 629.13

Модель руху космічного апарата при міжгалактичних польотах і теорія космічного реактора / С.А. Качур // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С. 43-49.

Запропоновано циклічну модель Всесвіту, що синтезує на новій основі ключові положення найбільш відомих космологічних теорій, а саме, теорії Ейнштейна, Фрідмана й Гамова, зв'язуючи їхнім введенням космічних годин. Дана модель дає можливість реалізувати використання енергії космічних об'єктів при міжгалактичних польотах.

Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 621.327:681.5

Method two component encoding of aperturnykh constituents for images in facilities of telecommunications / V.V. Barannik, A. Doduh // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.28-32.

Development method compression of images is conducted on the basis construction generalized two component code presentation on the base of sharing elements of co-ordinate structural and scale on the lines presentation fragment of image. It is rotined that it provides treatment of integral information about the fragment image, and the generalized forming code combination is carried out on basis two component computer-integrated principles. Advantages offered approach relatively bats oriented principle forming of integrated presentation are proved.

Ref.: 5 items.

UDC 629.391

Encoding meaningful component transforms / V.V. Barannik, V.N. Krivonos, A.V. Hahanova // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.32-35.

Approach for the construction of technology of compression of images is grounded with the use of the preliminary transforming, being based on forming two constituents of transform, namely: vector meaningful component and vector of scaling constituents; description of vector meaningful component of transform as elements of position numbers with unequal nearby elements.

Ref.: 5 items.

UDC 621.311.68

Model for design for reliability of uninterruptible power supply of electronic information systems of around-the-clock continuous operation / B.Yu. Volochiy, D.S. Kuznetsov // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.36-42.

The design for reliability model is offered for automatization of the solution of fault-tolerant systems for uninterruptible power supply design problems. An example of solving problems of designing of the fault-tolerant system is given.

Tab. 5. Fig. 4. Ref.: 15 items.

UDC 629.13

Model of movement the space vehicle at intergalactic flights and the theory of the space reactor / S.A. Kachur // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P. 43-49.

The cyclic model of the universe synthesizing on a new basis key positions most known cosmological of the theories, namely is offered, Einstein's to theory, Фридмана and Гамова, connecting their introduction of space hours. The given model enables to realize use of energy of space objects at intergalactic flights.

Fig. 2. Ref.: 5 items.

УДК 519.21

Процес розподілу часток порошкової суміші за розмірами / О.В. Вовк, М.С. Подгорбунський // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.50-53.

Розглянуто процес формування порошкових сумішей за допомогою повітряно-центробіжних сепараторів. Установлені основні сили, які діють на частки суміші. Показано, як залежить точність процесу розподілу часток у сепараторі від їх розмірів.

Бібліогр.: 6 назв.

УДК 681.326:519.613

Інфраструктура убудованого відновлення логічних PLD-схем / Murad Ali Abbas, B.I. Хаханов, Є.І. Литвинова, І.В. Хаханова // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.54-57.

Розглянуто структури комбінаційних схем, доповнені операційним та керуючим автоматами моделювання цифрових пристроїв, орієнтовані на розв'язання практичних задач убудованого відновлення працездатності компонентів логічних пристроїв за рахунок збільшення часу обробки і додаткових апаратних витрат на створення оболонки елементів, що адресуються. Запропоновані структури також можна використовувати для апаратного моделювання функціональностей цифрових проектів на основі використання PLD, що дає можливість істотно підвищити швидкодню верифікації програмних моделей.

Л. 5. Бібліогр.: 18 назв.

УДК 004.93

Синтез нейро-нечітких мереж на основі дерев розв'язків для діагностування та автоматичної класифікації за ознаками / Є. О. Гофман, С. О. Субботін, А. О. Олійник // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.58-62.

Розглянуто задачу побудови нейро-нечітких мереж з використанням дерев розв'язків. Розроблено метод синтезу нейро-нечітких мереж, що формує нечітке розбиття ознакового простору і виділяє правила, на основі яких формується структура мережі і визначаються значення її параметрів. Це дозволяє синтезувати моделі з невеликим числом нейро-елементів, які володіють високим рівнем узагальнення і не вимагають розв'язання задач оптимізації для настройки значень параметрів моделі.

Л. 1. Бібліогр.: 12 назв.

УДК 004.93'1; 004.932

Попередня оцінка ефективності інваріантної процедури виділення текстур / І.А.Панченко, Є.П.Путятин // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.62-66.

Інваріантна процедура виявлення текстур на зображеннях припускає ідентичний процес обробки параметрів кожного пікселя. Серед таких процедур найбільш простими є ті, які застосовуються при статистичній обробці. Розглядається один з можливих варіантів інваріантної ідентифікації текстур на підставі порівняння гістограм розподілу яскравості при вимірі розмірів вікна аналізу.

Табл. 2. Л. 6. Бібліогр.: 8 назв.

УДК 519.21

Distribution process of a powder mix particles in the sizes / O.V.Vovk, N.S. Podgorbunskiy // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.50-53.

Formation process of powder mixes with the help of air-centrifugal separators is considered. The basic forces, which operate on particles of a mix, are resulted. It is considered as in a separator accuracy of distribution process of particles depends on the size of these particles.

Ref.: 6 items.

UDC 681.326:519.613

Infrastructure for embedded repairing logical PLD-circuits / Murad Ali Abbas, Hahanov V.I., Litvinova E.I., Hahanova I.V. // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.54-57.

The structures of combinational circuits are considered. They are improved by using operational and control automaton for modeling digital devices, and focused on solving practical problems of embedded repairing logic components by increasing the processing time and additional hardware costs to create wrapper of addressable elements. The proposed structures can also be used for hardware modeling functionalities of digital projects through the use of PLD, which allows significantly improving the performance of software model verification.

Fig. 5. Ref.: 18 items.

UDC 004.93

Neuro fuzzy network synthesis based on decision trees for diagnostics and automatic classification on the attributes / Ye. Gofman, S. Subbotin, A. Oliinyk // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.58-62.

The solution of the problem of constructing neuro fuzzy networks based on decision trees is considered. The method of synthesis of neuro fuzzy network, which forms a fuzzy partition of feature space and allocates the rules on which the network structure is formed and defined by the values of its parameters, which allows to synthesize a model with a small number of neural elements that have a high level of generalization, and does not require solutions optimization problems to adjust the values of model parameters is developed.

Fig. 1. Ref.: 12 items.

UDC 004.93'1; 004.932

Tentative estimation of efficiency invariant procedure of allocation structures / I.A.Panchenko, E.P.Putjatin // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. С.62-66.

Invariant procedure of detection structures on images assumes identical process of processing of parameters of everyone pixel. Among such procedures by the most simple what are applied at statistical processing are. One of possible variants invariant identification of structures is considered on the basis of comparison histograms distribution of brightness at measurement the sizes of a window the analysis.

Tab. 2. Fig. 6. Ref.: 8 items.

УДК 004.312.2

Спрощення логічного синтезу цифрових блоків на основі каталогів логічних функцій / Ю.О. Кочкар'єв, С.В. Бурмістров, І.В. Сінко // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. №2. С.67-69.

Проведено аналіз сучасного стану каталогізації мінімальних форм логічних функцій (ЛФ) та запропоновано більш ущільнені каталоги ЛФ у вигляді мегагруп релятивності, кількість яких не перевищує 2^{n-1} , що складає реальну практичну основу для радикального спрощення етапу логічного синтезу цифрових блоків різного призначення. Запропоновано інструментальний пакет, який дозволяє безпосередньо по номеру обраної ЛФ знайти мінімальні форми представлення ЛФ у трьох ізоморфних базисних формах представлення, а також інформацію про очікувані показники складності реалізації ЛФ.

Таб. 2. Іл. 1. Бібліогр.: 3 назви.

УДК 519.7

Дослідження задач оптимального розподілу припустимих навантажень серверних прикладань на сервері / К.О. Андрієнко, А.М. Гвоздинський, С.К. Ратай // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.69-74.

У даний час більшість підприємств мають потребу зберегти велику кількість даних в електронних копіях. Отже, є потреба встановлювати сервери. Для їх коректної роботи потрібно розраховувати допустимі навантаження служб з такими характеристиками, як: мінімальний час на обробку служб; мінімум витрат на обробку служб; мінімум помилок. У роботі запропонована математична модель задачі лінійного програмування на основі моделей симплекс-методу та принципу Байєса-Лапласа. У результаті цього був отриманий оптимальний план роботи сервера.

Бібліогр.: 1 назва.

УДК 519.713:504.064

Комплексна еколого-гігієнічна оцінка стану антропогенно-навантажених територій за концепцією корпоративної еколого-гігієнічної системи / Т.В. Козуля, В.В. М'ясоєдов, М.Г. Щербань, М.М. Козуля // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.75-83.

Надана практична реалізація теорії систем-системного об'єкта екологічного моніторингу з наданням комплексної еколого-гігієнічної оцінки на основі імовірно-ентропійного і ризик-аналізу. Обговорені питання екологічної і медико-екологічної складової при визначенні ризику здоров'ю населення.

Табл. 5. Іл. 7. Бібліограф 12 назв.

УДК 004.89:528:519.816

Алгоритм створення тестового набору векторних та растрових даних / А.В. Бельчева, Н.О. Манакова // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.83-86.

Розглянуто реалізацію алгоритма генерації довільного набору векторних та растрових даних. Отриманий тестовий набір може бути використаний з метою дослідження ефективності методів обробки та аналізу просторових даних.

Іл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 004.312.2

Simplification of logic synthesis of digital blocks on the basis of catalogues of logic functions / J.A. Kochkarev, S.V. Burmistrov, I.V. Sinko // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.67-69.

The analysis of a current state of cataloguing of the minimum forms of logic functions (LF) is carried out and it is offered more condensed catalogues LF in a kind Megagroup (MGR) which quantity does not exceed 2^{n-1} that makes a real practical basis for radical simplification of a stage of logic synthesis of digital blocks of different function. The tool package which allows directly under number selected LF is offered to find the minimum forms of representation LF in three isomorphic basic forms of representation, and also the information on expected indicators of complexity of realisation LF.

Tab. 2. Fig. 1. Ref.: 3 items.

UDC 621.396.67

Investigation of problems of optimal distribution of allowable load server applications on the server / K.O. Andriyenko, A.M. Hvozdynskyy, S.K. Ratay // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.69-74.

Nowadays most of enterprises need to store a large amount of data in electronic copies. Therefore there is a need to install servers. For its correct work you should to calculate allowable load services with characteristics such as: the minimal time of processing services; minimal contribution to processing services; minimum of errors. This work propose mathematical model of the linear programming based on models of simplex-method and principle Bayes-Laplace. The result is obtained the best plan of the server work.

Ref.: 1 items.

UDC 519.713:504.064

Complex ecological medical state estimation of anthropogenic loaded territories under corporation ecological-hygienic system concept / T.V. Kozulia, N. G. Sherban, V. V. Mjasoedov, M. M. Kozulia // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.75-83.

System-systems theory practical realisation of ecological monitoring object is presentation in the article with complex ecological hygienic estimation presentation on the basis probability-entropic and risk analysis. Problem of accounting the ecological and medical-hygienic component in definition of population health risk was discussed.

Tab. 5. Fig. 7. Ref. 12 items.

UDC 004.89:528:519.816

The algorithm of creating a vector and raster test data set / A.V. Belcheva, N.O. Manakova // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.83-86.

The generation of algorithm implementation of random set of vector and raster data is described in this article. Received test data set can be used to study the methods effectiveness of spatial data processing and analysis.

Fig. 2. Ref.: 5 items.

УДК 004.652.4+004.827

Метод оцінювання якості лікувально-терапевтичної схеми на основі експертних систем/ Н.І. Мельникова // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.86-90.

Запропонований власний підхід щодо вирішення задачі оптимізації методу оцінки якості медичних експертних систем, що забезпечують підбір оптимальних схем лікування. Встановлено, що оцінка якості життя повинна стати одним із основних критеріїв ефективності надання медичної допомоги, а також самостійним показником стану пацієнтів при проведенні медико-соціальної експертизи, визначення прогнозу, тактики лікування, розробці реабілітаційних програм, оскільки насамперед лікується не хвороба, а пацієнт, що страждає від неї.

Табл. 1. Іл. 3. Бібліогр.: 4 назв.

УДК 004.413+004.51+004.738.5

Аналіз особливостей відвідування Веб-галерей з урахуванням поведінки користувача / Ю.В. Ришковець, П.І. Жежнич // *Радіоелектроніка та інформатика*. 2012. № 2. С.90-93.

Здійснено класифікацію Веб-галерей за ознакою доступності перегляду. Обговорено цілі використання Веб-галерей. Описано результати експериментальних досліджень відвідуваності Веб-галерей. Запропоновано метод побудови експозицій Веб-галерей, який враховує час працездатності користувача та його функціональні стани.

Іл. 2. Бібліогр.: 20 назв.

UDC 004.652.4+004.827

The method of evaluating quality of treatment and therapeutic schemes on the basis of expert systems/ N.I. Melnykova // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.86-90.

We propose their own approach to solving the optimization problem of the method for evaluating the quality of medical expert systems that ensure the selection of optimal treatment regimens. Established that the assessment of quality of life should be one of the main criteria of efficiency of medical care, and independent measure of patients during medical and social expertise, determination of prognosis, treatment tactics, developing rehabilitation programs.

Tab. 1. Fig. 3. Ref.: 4 items.

UDC 004.413+004.51+004.738.5

The analysis of visiting peculiarities of web-galleries with user behavior considering / Yu.V. Ryshkovets, P.I. Zhezhnych // *Radioelektronika i informatika*. 2012. №2. P.90-93.

The classification of web-galleries according to the reviews accessibility is realized. The aims of using web-galleries usage are considered. The experimental studies' results of web-galleries visits are described. The method of building the web-galleries exhibitions', which takes into consideration the time of users' working capacity and his functional conditions, is proposed.

Fig. 2. Ref.: 20 items.

ПРАВИЛА

оформления рукописей для авторов
научно-технического журнала

"Радиоэлектроника и информатика"

Тематика: радиотехника; электроника; телекоммуникации; компьютерные науки; компьютерная инженерия и техническая диагностика; системы и процессы управления; информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии.

Формат страницы — А4 (210x297 мм), поля: сверху — 15, справа, слева, снизу — 20 мм. Количество колонок — 2, интервал между ними — 5 мм. Редактор: Pagemaker 6.0 (можно, но нежелательно Word), гарнитура Times ET (Times New Roman Cyr), кегль — 10 пунктов, межстрочное расстояние — 110%, табуляция — 5 мм.

Объем рукописи — от 2 до 10 с. (языки: русский, украинский, английский). Текст рукописи должен быть структурирован и содержать все *основные части, характерные для научной статьи*: **введение** (отражает *актуальность*, формулирование *цели и задач* исследования); **сущность** (изложение основного материала исследования с описанием идеи, метода, и обоснованием полученных научных результатов); **выводы** (отражают результаты исследования, их *научную новизну* и *практическую значимость*, сравнение с лучшими аналогами, перспективы).

Структура рукописи: заголовок, аннотация, текст, литература, реферат (на украинском и английском языках), сведения об авторах.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ

УДК 519.713

НАЗВАНИЕ РУКОПИСИ

ФАМИЛИЯ И.О.

(Название желаемого раздела тематики)

Аннотация (на языке статьи, абзац 5-10 строк, кегль 9) помещается в начале статьи и содержит информацию о результатах описанных исследований.

Основной текст можно разделять на 2 и более подразделов с заголовками, выделенными полужирным шрифтом, пронумерованными арабскими цифрами, как показано в следующей строке.

1. Название раздела

Рисунки и таблицы (черно-белые, контрастные) помещаются в текст после первой ссылки в виде *переносимых объектов* и отдельно нумеруются, при наличии более одного рисунка (таблицы), арабскими цифрами. Рисунок содержит подрисовочную центрированную подпись под иллюстрацией (вне рисунка), как показано на рис. 1.

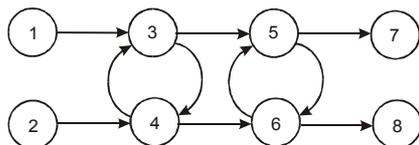


Рис. 1. Граф с контурами

Табличный заголовок располагается справа над таблицей (вне таблицы), что иллюстрируется табл. 1. Редакторы: CorelDraw, Table Editor, Excel.

Таблица 1

Шаг i	1	2	3	4	5	6
$\Phi(1,3)$	1	2	2	4	6	1

Формулы нумеруются при наличии ссылок на них в рукописи. Формулы, символы, переменные, встречающиеся в тексте, должны быть набраны как объекты Microsoft Equation. Рекомендуются высота формульных кеглей: переменная — 10 пунктов, индекс — 8, над- и подиндекс — 8, основной (индексный) математический символ — 12(10):

$$F_{i+i} = \sum_{i=1}^k F_j^i - \prod_{j=1}^{1+h} P_{R_{j+i}} + F^{j-1} + X \sum n^k. \quad (1)$$

Формат переменных (желательно не курсивом — без наклона) в тексте и формулах должен быть идентичным. В тексте над- и подиндексы составляют 70 % от высоты кегля, которые рекомендуется опускать (поднимать) на 17 (33) % относительно основной строки.

Литература (включает опубликованные источники, на которые имеются ссылки в тексте, заключенные в квадратные скобки) печатается без отступа, кегль 9 пунктов.

Образец окончания текста рукописи (литература, сведения об авторах, реферат) представлен ниже.

Литература: 1. *Фамилия И.О.* Название книги. Город: Издательство, 1900. 000 с. 2. *Название сборника* / Под ред. И.О. Фамилия. Город: Издательство, 1900. 000 с. 3. *Фамилия И.О.* Название статьи // Название журнала. Название серии. 1997. Т. 00, № 00. С. 00-00.

Поступила в редколлегию 00.00.00

Рецензент: должность, ученая степень, Фамилия, И.О.

Фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность и место работы. Научные интересы. Увлечения и хобби. Адрес, контактные телефоны.

Рефераты представляются на украинском и английском языках.

УДК 000.000.00

Назва статті /Ініціали. Прізвище // *Радиоэлектроника та информатика*. 2000. № 00. С. 00-00.

Текст реферату.

Табл. 00. Лл. 00. Бібліогр.: 00 назв.

UDC 000.000.00

Title of paper /Initials. Surname // *Radioelektronika i informatika*. 2000. N 00. P. 000-000.

Text.

Tab. 00. Fig. 00. Ref.: 00 items.

Представление материалов

Рукопись, рефераты, сведения об авторах — в одном файле, *поименованном фамилией автора*, на дискете 3,5 дюйма. Твердая копия материалов — для граждан Украины — в одном экземпляре: рукопись, подписанная авторами, рефераты, акт экспертизы, внешняя рецензия, подписанная доктором наук, заявление на имя главного редактора со сведениями об авторах.

Адрес редакции: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, ХНУРЭ, комната 321, тел. 70-21-326, e-mail: ri@kture.kharkov.ua; hahanov@kture.kharkov.ua. <http://www.ewdtest.com/ri>

Рекомендовано Ученым советом Харьковского национального университета радиоэлектроники (протокол № 10 от 27.06.2012)

Підписано до друку 27.06.2012. Формат 60x84¹/₈.

Умов. друк. арк. 9,1 . Зам. № б/н . Тираж 300 прим. Ціна договірна.

Віддруковано у СПД ФО Степанов В.В.

61168, Харків, Акад. Павлова, 311.